

DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

REVUE MENSUELLE

NOVEMBRE 1952

Cinquième année, n° 59.

SOMMAIRE

	Pages.
M. ROUSSELIER, Le revêtement des galeries	1109
Série : Technique générale de la Construction (XIII).	
M. BUISSON, Les glissements de la falaise de Sainte-Adresse.	1127
Série : Sols et Fondations (XI).	
R. PELTIER, Étude des revêtements bétonnés pour routes et aérodromes . . .	1147
Série : Travaux Publics (XVII).	

JOURNÉES INTERNATIONALES DE CHAUFFAGE, VENTILATION, CONDITIONNEMENT DE L'AIR 1952

ÉTUDES ET RECHERCHES FRANÇAISES

A. FOURNOL, Quelques travaux récents du C. S. T. B., en matière d'équipement de chauffage dans les habitations	1163
R. CADIERGUES, Études et recherches 1951 du Comité Scientifique et Technique de l'Industrie du Chauffage et de la Ventilation. Les dispositifs de sûreté hydrauliques en chauffage à vapeur basse pression.	1173
Ch. FISCHER et P. LÉVÊQUE, Mesure de la ventilation par traceurs radioactifs.	1187
A. BLANC, Les recherches thermiques aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics	1189
Série : Équipement Technique (XXX).	

Documentation technique réunie en août 1952 1201
Documentation Technique (LIX).

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES
ET DE DOCUMENTATION TECHNIQUE
28, BOULEVARD RASPAIL, PARIS (VII^e)

LABORATOIRES DU BATIMENT
ET DES TRAVAUX PUBLICS
12, RUE BRANCION, PARIS (XV^e)

BUREAU SECURITAS
9, AVENUE VICTORIA, PARIS (IV^e)

CENTRE D'INFORMATION ET DE
DOCUMENTATION DU BATIMENT
100, RUE DU CHERCHE-MIDI, PARIS (VI^e)

Édité par La Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics.
(Société à responsabilité limitée au capital de 600 000 F.)
28, boulevard Raspail, PARIS-VII^e

C. C. P. PARIS 8524-12

Tél. : BAB. 18-56

Une des principales missions de L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

consiste à mettre à la disposition de toute personne intéressée par les problèmes de la construction, une vaste documentation fournie par :

Le service de documentation de l'Institut Technique

qui dépouille plus de 400 périodiques techniques dont plus de la moitié viennent de l'étranger;

*Les Laboratoires du Bâtiment
et des Travaux Publics;*

*Des techniciens français et étrangers
de la profession.*

Soit au cours de conférences ou de visites de chantier
organisées par le *Centre d'Études Supérieures*.

Soit dans des exposés traitant de questions ou de
réalisations diverses.

A cet effet, l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics dirige la rédaction ou rédige :

1° Des ouvrages divers parmi lesquels il faut citer : les Règles d'utilisation de certains matériaux (béton armé, acier, etc.), des Règles ayant trait à des problèmes particuliers (par exemple : les effets de la neige et du vent sur les constructions). L'application de certaines de ces règles a été rendue obligatoire par le MINISTÈRE DE LA RECONSTRUCTION ET DE L'URBANISME pour les travaux relevant de son autorité.

(La liste des publications et les conditions d'envoi sont adressées sur demande formulée à la *Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*.)

2° Les ANNALES qui publient :

Les conférences et comptes rendus de visites de chantiers organisées par le *Centre d'Études Supérieures*;

Des études originales françaises et étrangères;

Les Manuels du béton armé, de la charpente en bois et de la construction métallique;

Les comptes rendus de recherches d'intérêt général poursuivies par les Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics;

Une documentation technique.

Chaque sujet est classé dans les séries suivantes :

Architecture et Urbanisme.

Technique générale de la construction.

Théories et Méthodes de calcul.
(Résistance des matériaux.)

Essais et Mesures.

Sols et fondations.

Gros œuvre.

(Maçonnerie, travail du bois.)

Construction métallique.

Travaux Publics.

Matériaux.

(Pierres et Minéraux. Géologie.)

Liants hydrauliques.

Béton. Béton armé.

Béton précontraint.

Équipement technique.

(Électricité, chauffage et ventilation,
froid, acoustique, plomberie, couver-
ture, étanchéité.)

Aménagement intérieur.

Matériel de chantier.

Questions générales.

(Questions économiques, hygiène, sécurité.)

Documentation technique.

Manuel du Béton armé.

Manuel de la Charpente en bois.

Manuel de la Construction Métal-
lique.

COMPTE RENDU DU VII^e CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA COUVERTURE-PLOMBERIE ANVERS 1950

Le Compte rendu du VII^e Congrès International de la Couverture-Plomberie, Installations sanitaires, Gaz, Hydraulique Générale, paraîtra vers la fin du mois de novembre 1952.

Cet ouvrage rend compte de cette importante manifestation technique et professionnelle, qui réunit les représentants de sept nations.

Il reproduit, notamment, le texte des rapports soumis au Congrès sur les questions ci-après, qui figuraient à l'ordre du jour, les rapports préliminaires présentés, le Rapport général de M. H. CHARLENT, ancien premier Vice-Président de la Chambre Syndicale des Entrepreneurs de Couverture-Plomberie de Paris, Vice-Président de l'Union des Patrons Installateurs sanitaires et Couvresseurs de France, et les vœux et conclusions adoptés par le Congrès.

Les questions inscrites à l'ordre du jour du Congrès étaient les suivantes :

1° La Préfabrication dans les différents pays. Sa répercussion sur l'évolution de la profession. Conclusions à en tirer.

2° L'emploi de l'Aluminium dans nos Professions (Couverture, tuyauteries, robinetterie).

3° Tenue des différents métaux pour les canalisations d'alimentation et d'évacuation des eaux à haute température.

4° Rapports avec les fournisseurs. Approvisionnement. Conditions de vente.

Tous les Professionnels, Entrepreneurs, Ingénieurs, Techniciens et Cadres, comprendront aisément l'utilité que présente, pour eux, le Compte rendu du Congrès.

Le prix de cession de cet ouvrage a été fixé à 980 F (frais d'envoi en sus : 120 F pour la France).

Les souscriptions sont reçues à l'Union des Patrons Installateurs sanitaires et Couvresseurs de France, 3, rue de Lutèce, PARIS-IV^e.

Le paiement peut être effectué : soit par chèque ou mandat à l'ordre de l'Union des Patrons Installateurs sanitaires et Couvresseurs de France ; soit par versement ou virement à son compte chèques postaux Paris 181-67. Il n'est pas fait d'envoi contre remboursement.

Série : *TECHNIQUE GÉNÉRALE DE LA CONSTRUCTION (XIII).*

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 6 MAI 1952

SOUS LA PRÉSIDENTENCE DE **M. de MAUBLANC**,
Contrôleur Général de l'Équipement d'Électricité de France.

LE REVÊTEMENT DES GALERIES

Par **M. ROUSSELIER**,

Directeur Adjoint de l'Équipement, chargé des Projets Hydroélectriques.

SOMMAIRE

	Pages.
I. Introduction	1110
II. Réduction des pertes de charge	1111
III. Étanchéité	1113
IV. Protection et stabilité chimique du rocher	1115
V. Stabilité mécanique	1117
VI. Particularités d'exécution	1122
VII. Revêtement de types spéciaux	1124
VIII. Conclusions	1127

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

Je n'ai pas besoin de vous présenter M. ROUSSELIER qui a la charge, auprès de la Direction de l'Équipement de l'Électricité de France, du Service des Projets hydroélectriques. A ce titre il a coordonné le programme Monnet, aujourd'hui en voie d'achèvement. Il a préparé le programme prochain, que nous aurions voulu voir démarrer depuis déjà une année et que les circonstances économiques ont décalé jusqu'à maintenant, dangereusement pour notre équilibre énergétique.

Le problème des souterrains lui est parfaitement familier. Il vous parlera des revêtements dont l'importance est considérable dans la tenue des ouvrages et dans leur coût.

EXPOSÉ DE M. ROUSSELIER

I. — INTRODUCTION

Dans la construction des aménagements hydroélectriques, les galeries d'adduction représentent une part considérable des ouvrages : la longueur totale des souterrains inscrits au Plan de Modernisation est en effet de 406 km dont les 3/4 étaient réalisés en 1951. Quelques projets comportent des développements souterrains très importants qui dépassent 20 km. Citons : Montpezat (23 km), le Pouget et Pragnères (27 km), Aston (29 km), Roselend (55 km).

Dans ces dernières années, l'évolution des procédés de creusement a été profonde, et s'est traduite par une mécanisation à peu près totale de la perforation et du marinage : le dernier *Congrès International sur le creusement des galeries au rocher* en a fait le point de façon très précise.

En ce qui concerne les revêtements, nous sommes témoins d'une évolution parallèle dans les modes de construction. La marche vers les charges de service élevées et la recherche de l'économie de matière ont conduit à tenter de préciser les éléments théoriques relatifs aux

galeries en pression. En même temps, l'observation des incidents d'exploitation dans des conditions variées a fait apparaître concrètement certaines limites de sécurité.

Il est utile de faire le point en matière de revêtements, ceux-ci représentant une part assez importante des investissements d'un projet. Ainsi sur 5 000 000 m³ de bétons de toute nature, prévus au programme hydraulique en cours, 15 % environ sont représentés par les seuls revêtements en souterrain malgré une proportion importante de grands barrages. Dans un projet mixte comportant barrages et galeries, comme le Pouget, il peut y avoir autant de béton en souterrain qu'à l'extérieur.

Pour les sections courantes, le prix du revêtement fini représente en gros 30 % du prix total, davantage même pour les petites sections. Les réalisations récentes dégagent une tendance très nette à un emploi généralisé du revêtement : une statistique portant sur vingt galeries achevées montrent que quinze d'entre elles sont revêtues sur plus de 85 % de la longueur et trois seulement sur moins de 45 %.

RÉSUMÉ

Le revêtement des galeries représente une part importante, le plus souvent de l'ordre du tiers, des travaux d'adductions souterraines, tant en prix qu'en délais d'exécution. Il est donc indiqué de s'attacher à en réduire le coût et même d'en envisager si possible la suppression totale. Le revêtement doit ainsi faire l'objet d'une étude systématique qui fasse la synthèse de conditions économiques telles que l'amélioration de l'écoulement et de l'étanchéité, de sécurités d'exploitation telles que l'altérabilité et la stabilité mécanique de l'ouvrage et de conditions d'exécution au prix de revient minimum. L'étude de ces conditions doit s'appuyer sur un ensemble d'observations et de mesures, et se substituer à l'empirisme qui fut très souvent de règle dans le passé; en même temps, certaines techniques d'exécution récentes semblent ouvrir des perspectives nouvelles, plus rationalisées et plus économiques. On pouvait se demander si l'analyse plus systématique des raisons du choix des revêtements ne conduisait pas à certaines directives ou recommandations

générales : il n'en est rien, toute conclusion de cet ordre restant dominée par les incertitudes courantes sur les prix de revient et même sur des facteurs comme le taux d'intérêt entrant dans les calculs économiques. Cependant, cette analyse plus exacte reste recommandable sur les cas d'espèce dès lors qu'un certain nombre de paramètres auront pu être déterminés : soit qu'une étude préalable suffisante de l'organisation des travaux ait été faite, soit qu'une série de prix constitue une donnée du problème, les marges d'erreurs sur les prix de revient pourront être suffisamment faibles, pour donner un sens aux calculs économiques. Lorsque l'écoulement est seul en cause, l'indétermination, ou si l'on veut la divergence des solutions adoptées jusqu'ici, ne saurait donc surprendre outre mesure; cependant, une appréciation plus sûre, ou moins timorée des autres sujétions et notamment de l'aptitude du terrain à supporter la charge ne peut, toutes choses égales, qu'ouvrir des perspectives plus larges au maintien des sections brutes.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

Du point de vue économique, le problème des revêtements mérite ainsi autant d'intérêt que celui des barages en béton par exemple, où l'ingénieur a opiniâtement recherché un meilleur emploi de la matière par l'analyse minutieuse des contraintes et l'obtention de qualités mécaniques élevées. Mais ici l'avancement de la théorie se trouve freiné par la complexité de la nature du massif de support. On sait combien la connaissance du comportement du béton, ce matériau artificiel étudié dans tous les laboratoires du monde, était naguère imprécise. On peut dire que la connaissance du comportement des roches est dans l'enfance, dès lors qu'il ne s'agit plus

d'échantillons, mais du massif naturel avec son complexe de composition, de structure et de contraintes. On présente une synthèse possible des sciences du géologue, du minéralogiste et du mécanicien de la matière.

Dans cette conférence, nous ne pouvons prétendre aborder tout ce qui concerne la technique des revêtements. Il nous a semblé commode d'envisager séparément les différents facteurs qui conditionnent la constitution et le choix du revêtement : diminution des pertes de charge, étanchéité, stabilité chimique et stabilité mécanique. Nous mentionnerons enfin les particularités d'exécution les plus spécialement intéressantes.

II. — RÉDUCTION DES PERTES DE CHARGE

Lorsque le revêtement n'est nécessaire pour aucune autre cause, il y a lieu d'examiner s'il n'est pas avantageux par la seule réduction des pertes de charge. La question est beaucoup moins simple qu'elle n'apparaît au premier abord.

En théorie, le projeteur a pour tâche d'effectuer un choix préalable entre une section brute et une section revêtue, chacune étant déterminée par son *diamètre économique*. En pratique le problème est plus nuancé. Soit que l'on désire une certaine continuité de la section de perforation, soit que la qualité un peu plus douteuse du rocher ne permette pas d'envisager à priori, en toute sécurité, le profil brut, on peut se poser également à l'exécution des problèmes sensiblement différents : comme celui de l'intérêt de revêtir une section brute donnée. Bien entendu il n'y a de question que pour les débits supérieurs aux débits économiques de la section minimum brute (soit 4 à 5 m³/s pour D = 2 m à 2,20 m). Il faut aussi éliminer les cas où l'on est amené pour diverses raisons (stabilité hydromécanique, limitation de la charge à la tête aval) à rechercher une diminution des pertes de charge pour d'autres motifs que la considération de l'énergie dissipée par rugosité.

Ceci dit, on sait que le diamètre théorique économique d'une galerie s'exprime en première approximation par l'égalité des investissements marginaux d'une part, et de la valeur capitalisée de l'énergie marginale correspondant aux pertes de charge d'autre part, ou encore,

ce qui revient au même, par la minimisation du bilan : investissements + pertes capitalisées. Le diamètre économique est donc indépendant de la hauteur de chute, mais il est fonction de la loi d'utilisation des débits et de la valeur spécifique de l'énergie produite par l'aménagement. Pratiquement, la valeur spécifique moyenne des pertes peut varier dans un rapport de 1 à 1,6 selon l'utilisation annuelle et la proportion d'énergie de lac. Leur valeur capitalisée est bien entendu en raison inverse du taux d'intérêt ou plus exactement d'actualisation. Nous admettrons ici 4 %, mais les variations du taux du marché pourraient faire admettre en d'autres circonstances un chiffre très différent dans une marge du simple au double, par exemple de 2,5 % à 5 %.

Le calcul est en outre frappé des incertitudes sur la connaissance des pertes de charge et sur celle des prix de génie civil.

Les pertes de charge sont usuellement calculées par la formule classique de Strickler dont le coefficient K présente l'avantage d'être relativement peu dépendant du diamètre. Dans un avant-projet, on admet en général K = 80 pour le béton coffré métal et K = 25 à 35 pour le rocher brut. Les pertes de charge dans les galeries partiellement revêtues sont calculées à partir d'un coefficient moyen obtenu en pondérant les puissances 2/3 des coefficients de Strickler au prorata des périmètres mouillés. Cette formule dite d'Einstein a pu être vérifiée expérimentalement de façon assez satisfaisante.

SUMMARY

Gallery coating accounts for a large part, usually about one third, of the underground works for water supply, in cost, as well as in time spent. It is therefore desirable to reduce its cost and, if possible, to cancel it altogether. The coating should therefore be studied systematically, to synthesize the economic conditions such as improvement of flow and watertightness, safety of exploitation factors such as deterioration and mechanical stability of the structure and the construction conditions at minimum unit cost. The study of these conditions should be based on all the observations and measurements available and not on empirical knowledge as too often in the past. At the same time, certain recent techniques seem to open new perspectives, more rationalized and more economical. One might believe that a more systematic analysis of the reasons for selecting coatings could lead to certain general directions or

recommendations. It is not so, since all the conclusions are subject to current uncertainties on unit prices and even on factors, such as interest rates, that play a part in economic calculations. However, this more accurate analysis is to be recommended in special cases where a certain number of parameters can be determined. Whenever a satisfactory previous study of work organization has been made, or a series of prices constitutes one of the problem data, the margins of error on unit costs may be sufficiently narrow to validate economic calculations. When flow alone is considered, the indetermination or better said the disagreement of the solutions adopted heretofore is not to be wondered of. However, a surer and less timorous appreciation of other factors, particularly the soil load bearing capacity, other things being equal, can only open broader perspectives for the keeping of gross sections.

C'est l'incertitude sur la rugosité du rocher brut qui introduit la plus grosse source d'erreur : une erreur sur K de 15 % entre 30 et 35 provoque une erreur de près de 40 % sur les pertes de charge. Aussi est-il préférable de préciser le coefficient d'écoulement du rocher brut sur une galerie de reconnaissance, soit par mesure des pertes de charge à l'air, soit en utilisant le coefficient de Chezy C qui s'exprime en fonction de la rugosité relative ε/D , ε étant la rugosité absolue ou hauteur moyenne des saillies de la paroi, C et K sont d'ailleurs liés par $C = KR^{1/6}$ (R étant le rayon hydraulique) et coïncident pour un diamètre de 4 m.

Dans ce qui suit, la galerie circulaire et la galerie en fer à cheval seront caractérisées par leur diamètre D . La figure 1 donne un exemple du calcul des diamètres économiques D_B et D_R des sections brutes et revêtues par le bilan minimum investissements + pertes. On voit que l'on peut s'écarter notablement de l'optimum théorique avec un très faible écart sur le bilan minimum. On voit également que pour toute section comprise entre D_B et D_R , l'écart avec le bilan moyen reste faible, inférieur à 7 % dans ce cas particulier. La courbe supérieure en profil brut correspond à une rugosité un peu plus forte (rugosité relative double). On comprend que l'indétermination des prix de génie civil ou des rugosités soit susceptible de modifier entièrement les conclusions sur

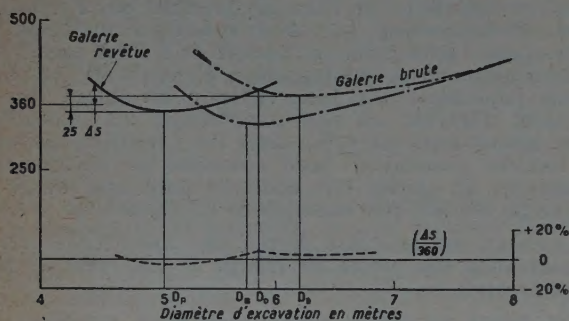


FIG. 1. — Recherche de l'optimum économique d'une galerie d'amenée.

le choix d'un type ou d'un autre. Le diamètre D_0 est celui pour lequel il y a égalité des bilans : bien qu'il soit théoriquement la solution la plus coûteuse, il pourra y avoir intérêt, lorsque l'écart entre les bilans est faible et lorsqu'il y a avantage à avoir une section continue de perforation, à tracer la galerie pour un diamètre voisin de D_0 .

On observera que la vitesse économique théorique correspondant à D_R tend à croître avec le débit et se trouve limitée par la vitesse maximum compatible avec la tenue des revêtements. On admet une limite de l'ordre de 3,50 m à 4 m. Cette limite se trouve atteinte en pratique pour des débits aménagés de l'ordre de 50 à 80 m³/s. Il y aurait donc intérêt, pour obtenir en très grande section le plein avantage du revêtement, à étudier de près les conditions de résistance superficielle à l'usure.

L'intérêt économique du revêtement d'une galerie brute de diamètre donné, bien que reposant sur une vue plus sommaire des choses, est donc d'un intérêt pratique assez fréquent. La figure 2 compare le coût du revêtement à la valeur capitalisée du gain de pertes de charge pour les différentes utilisations pratiques figurées par la zone hachurée. On voit que l'intérêt du revêtement dépend largement des caractéristiques énergétiques du

projet. Pour un projet donné, on peut déterminer le diamètre D_0 au-dessus duquel il n'y a pas avantage à revêtir. Ces indications reposent sur l'hypothèse d'un revêtement d'épaisseur voisine du minimum technique avec de faibles hors profils et sur des éléments de prix moyens. Mais les prix réels ont une dispersion assez forte et la pente de leur courbe est elle-même aléatoire : on voit combien toute conclusion générale peut être floue. On en tire tout au plus le sentiment que le revêtement appliqué à une section donnée aura moins de chances d'être payant dans la zone des grands diamètres et des aménagements au fil de l'eau à utilisation moyenne.

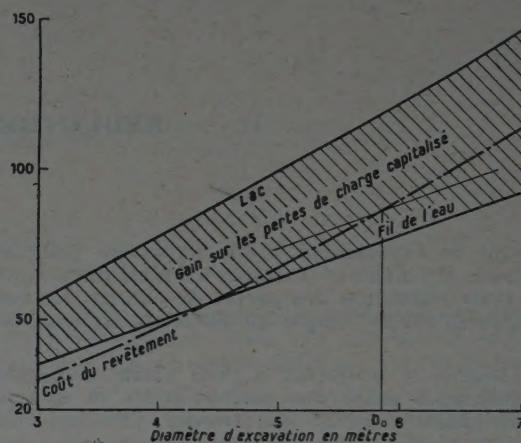


FIG. 2. — Intérêt du revêtement d'une galerie de diamètre donné.

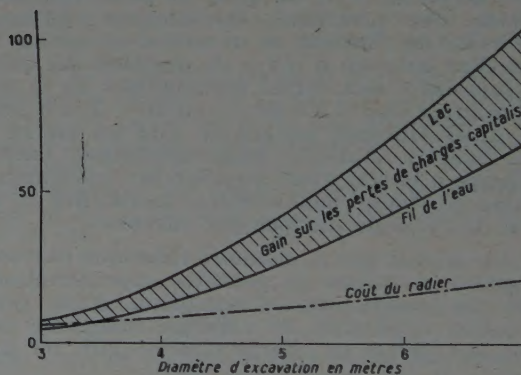


FIG. 3. — Intérêt du revêtement en radier.

L'influence du prix relatif de l'excavation et du béton peut être traduite de façon plus simple sur le problème suivant : intérêt de revêtir une section donnée ou de l'agrandir par abattage, les pertes de charge restant égales. Le calcul est élémentaire et montre que le rapport des prix unitaires de l'abattage et du béton doit être d'environ 30 %. C'est bien autour d'une moyenne de cet ordre qu'oscillent les prix constatés, et là encore la conclusion restera douteuse ou sera l'affaire de cas d'espèce. En Suède, pays de l'excavation bon marché, on constate en grande section un rapport d'environ 15 % qui explique sans doute l'usage répandu des profils bruts.

La figure 3 exprime l'intérêt d'un revêtement partiel en radier. On voit que le radier est beaucoup plus nettement payant en raison de son prix unitaire plus bas,

surtout dans le domaine des grandes sections. En petite section des modes de réalisation plus économiques seraient donc à souhaiter : il reste néanmoins très fréquemment employé en raison des facilités de circulation qu'il donne à l'exploitation. Plusieurs réalisations montrent d'ailleurs, qu'à tort ou à raison, le revêtement mince en radier et piedroit a été jugé payant, même en petite section.

Il faut par ailleurs accorder quelque attention à la répartition des revêtements sur le profil en long lorsqu'elle s'effectue par anneaux courts, c'est-à-dire inférieurs à cinq ou dix diamètres. Des essais ont montré que les pertes de charge à la Borda ou les turbulences dues aux changements de section compensaient la réduction de rugosité due au revêtement. Il y a donc lieu de ne pas la prendre en compte, ou encore d'examiner si un revêtement continu n'est pas finalement plus avantageux par réduction des pertes de charge. Ce sera généralement le cas dès que le pourcentage en long d'anneaux de soutènement est quelque peu important, au moins si l'on en juge par la figure 2 où tout se passe comme si le coût du revêtement était en gros diminué d'un pourcentage égal.

III. — ÉTANCHÉITÉ

La tendance de plus en plus marquée de soumettre les dérivations à des pressions de service élevées, porte au premier plan le problème de l'étanchéité. Les roches, y compris celles d'apparence saine et continue, sont fragmentées par un réseau plus ou moins serré de diaclases et, par places, de failles. Si elles sont tant soit peu ouvertes, elles peuvent mettre la galerie en communication avec l'extérieur par l'intermédiaire du système des circulations internes, et provoquer des fuites permanentes. Même si celles-ci sont faibles, les variations de charge créent des circulations alternatives qui peuvent accélérer l'élargissement des fissures par altération ou par débouillage de leurs remplissages argileux, sableux ou mylonitisés, et provoquer ainsi à la longue des désordres mécaniques ou chimiques dans le massif rocheux.

« L'auréole d'imbibition » du réseau de diaclases autour d'une galerie en charge est difficile à définir parce que la pression décroît avec la distance, et surtout parce que le phénomène est infiniment plus irrégulier que dans les terrains meubles. On ne peut parler de perméabilité mesurable et l'on doit se borner à constater des absorptions dont la dispersion reste assez forte, quelle que soit l'homogénéité du massif. L'auréole ébranlée par le tir dont l'épaisseur est très variable et peut aller du décimètre à plusieurs mètres, complique encore la question en introduisant une zone de plus grande perméabilité. Il va de soi que les fuites localisées par des failles ou fractures visibles doivent faire l'objet, le cas échéant, de traitements locaux qu'il est inutile d'exposer ici. Il n'y a d'indétermination que pour les pertes diffusées ou les pertes moyennes d'un massif dont la structure de fracturation n'a qu'une régularité relative.

En pratique, les mesures de perméabilité doivent s'insérer entre l'exécution de la perforation et celle du revêtement : elles doivent donc être simples et rapides et ne pas gêner outre mesure le programme des travaux. Aussi, les mesures de fuites sur tronçons longs obturés par des bouchons sont-elles assez rarement employées, bien qu'elles offrent le gros avantage de donner des résultats intégrés. On les emploie plus volontiers comme

On a vu accorder quelquefois un certain crédit au *gunitage* pour l'amélioration économique de l'écoulement. Sauf application en couche épaisse dont nous ne connaissons pas d'exemple, il semble qu'il ne puisse modifier la rugosité absolue moyenne de façon appréciable, et soit ainsi inopérant. Cependant cette opinion restera à vérifier sur des essais précis qu'il est prévu d'entreprendre.

En résumé, aucune loi générale nette ne peut être donnée pour l'intérêt économique des revêtements du seul point de vue de l'écoulement. L'extrême sensibilité de la solution vis-à-vis des prix en fait un problème d'espèce. Il ne paraît en général soluble avec quelque rigueur qu'après connaissance des prix réels d'un marché et même sous la condition que ce marché précise les prix marginaux. Le taux d'intérêt lui-même pourra avoir une influence notable selon la façon dont on pose le problème : par exemple il intervient directement sur celui traduit par la figure 2.

Une deuxième condition, tout aussi importante, est la détermination des pertes de charge en rocher brut dans des conditions voisines des conditions réelles de perforation, avec une exactitude plus grande que celle donnée par un coefficient estimé ⁽¹⁾.

vérification après exécution des revêtements et étanchements divers, ou bien on les reporte sur des rameaux adjacents ne gênant pas l'exécution des travaux.

L'opération la plus courante est l'injection d'eau dans un forage d'un diamètre de l'ordre de 46 mm et long d'une dizaine de mètres, à des pressions croissant jusqu'aux charges de service ou jusqu'à 10 ou 20 kg/cm². Rappelons que le critère d'étanchéité Lugeon est de 1 l/mn/m de sondage pour 10 kg/cm².

La difficulté consiste à établir des corrélations entre l'essai en forage et les pertes réelles par mètre courant de galerie. Dans les cas trop rares où les deux mesures ont été effectuées, on constate une certaine similitude des ordres de grandeur, malgré la dispersion très forte des essais en forage due à la variété des conditions locales et à de multiples causes annexes (fuites de l'obturateur, rentrées d'eau, etc.). D'une façon surtout qualitative, tout se passe comme si la perte par mètre linéaire était assez peu dépendante du diamètre, et se trouvait être une caractéristique du terrain en rapport avec le nombre de fissures coupées par l'excavation et avec leurs chemins de fuite. On pourrait admettre, semble-t-il, que la perte est une fonction légèrement croissante du diamètre, par exemple, de la forme $(1 + \alpha D)$, ou encore croissant en gros comme $\log D$ par assimilation avec les phénomènes d'écoulement dans les sols. En pratique, on supposera sans grande erreur qu'elle est indépendante de D .

Les essais sur forage (fig. 4) montrent que les pertes sont une fonction à peu près linéaire de la pression, tant que celle-ci reste inférieure à la compression naturelle du terrain : au-delà, la courbe s'infléchit brusquement et le terrain s'ouvre. La loi du débit de fuite suit ainsi d'abord celle des écoulements laminaires, proportionnelle à la charge, puis tend vers le carré de la charge quand les fissures s'ouvrent. Les fuites peuvent aussi croître brusquement lorsqu'une fissure se met en liaison large avec

⁽¹⁾ Les coefficients d'écoulement des sections revêtues semblent également capables de variations relatives importantes selon le surfacage : il y a là une question sur laquelle on ne dispose encore que de données trop insuffisantes.

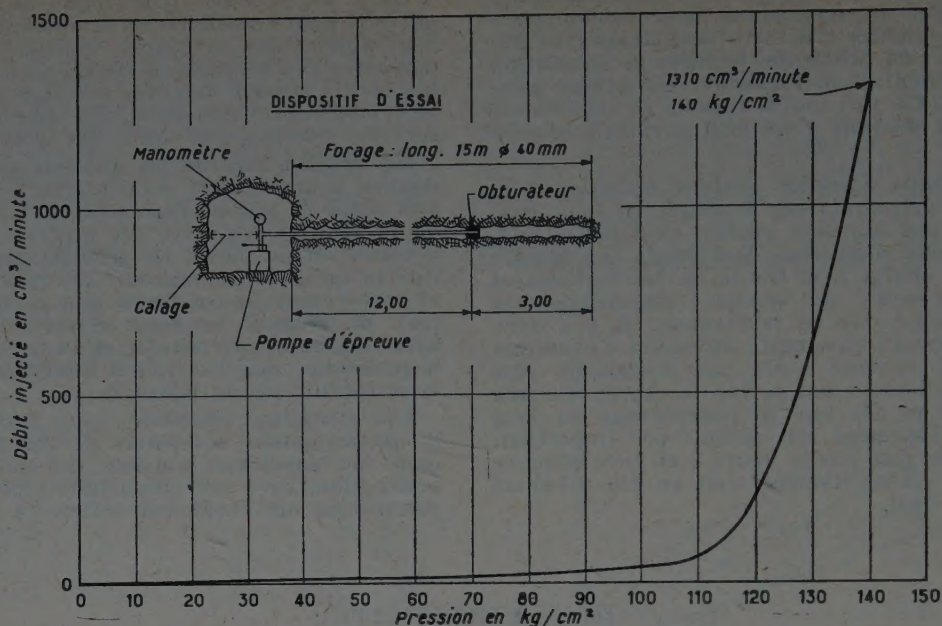


FIG. 4. — Essais de perte d'eau en forage.
(La Bathie-Roselend. Région d'Équipement Alpes II.)

la surface libre pour les faibles couvertures. Le point de courbure permet de se rendre compte du seuil absolu d'étanchéité au-delà duquel les désordres mécaniques du terrain s'aggravent et les pertes sont rapidement inacceptables. Accessoirement, on dispose par cet essai d'une mesure approchée de la compression naturelle à la paroi dont nous aurons à reparler plus loin. La loi linéaire reste en tout cas un moyen approché pour calculer le bilan des pertes à la pression de service, celle-ci pouvant subir des variations assez importantes.

Aspect économique de l'étanchéité.

L'aspect économique de l'étanchéité, pour être souvent passé sous silence, n'est pas toujours négligeable. Dans les roches à circulation karstique ou à clivage très ouvert, il va de soi que le revêtement s'impose pour cette seule raison. Le bilan économique des pertes est évidemment fonction de la hauteur de chute, et plus exactement de la valeur énergétique du débit.

On peut se rendre compte de quelques ordres de grandeur par un calcul très sommaire admettant que les sections revêtues et brutes ont les mêmes pertes de charge, et que les absorptions sont proportionnelles à la pression d'essai ou de service.

1° Revêtement en béton armé calculé pour la charge sans prise en compte de la résistance du rocher.

On obtient la formule :

$$pD^3 < 40 \alpha q$$

p étant la pression statique, D le diamètre de la section brute, α le coefficient énergétique du mètre cube d'eau en kilowatt-heure par mètre cube, q la perte en litres par minute et par mètre sous la charge considérée.

Appliquée à la chute d'Eylie, on trouve $q > 1,8$ l/mn/m les essais ayant donné 3,8 l/mn/m, le revêtement d'étanchéité est rentable. Pour la chute d'Arrens (schistes),

on trouve $q > 12$ l/mn/m alors que les essais conduisent à 0,25 l/mn/m.

2° Revêtement simple étanché par injections, on obtient $5D + 2,5D^2 < 20 \alpha q$, ce qui donne pour Pragnères $q > 0,7$ l/mn/m; les essais ont été en général inférieurs à 0,8 l/mn/m, soit 0,4 l/mn/m sous la pression de service.

3° Revêtement par blindage pour les très fortes chutes.

On obtient :

$$pD^2 + 47D < 120 \alpha q.$$

On trouve pour Roselend $q > 20$ l/mn/m. Les essais en schistes cristallins ont donné 0,25 l/mn/m, chiffre exceptionnellement bas.

Ces quelques données montrent que la règle pratique admise par différents auteurs (pas de revêtement pour une perte de 0,25 l/mn/m) est une enveloppe prudente. Cette valeur répond *grosso modo* au critère Lugeon pour une charge de 25 m. Cependant, on voit qu'une analyse économique sommaire n'est pas injustifiée. Pour les granits diaclasés rencontrés souvent dans les très hautes chutes, l'économie d'eau peut exceptionnellement à elle seule payer le revêtement comme à Eylie, ou en payer le plus souvent une partie, ce qui peut peser sur la décision de revêtir lorsque d'autres facteurs sont en cause.

A Pragnères, déjà cité pour une absorption acceptable en général, certaines sections ont révélé une perte par kilomètre de 30 l/s sous 100 m de charge, soit 1,5 fois le critère Lugeon, justifiant une valeur capitalisée d'environ 60 millions F par kilomètre.

Le Portillon (78 m de charge) est un exemple d'étanchement maintenu dans de strictes limites économiques où après divers essais sur tronçons courts, la galerie a été gunitée dans les zones diaclasées et revêtue par anneaux sur 1/10 de la longueur totale.

* * *

Le rôle d'étanchéité du revêtement simple avec injections de collage à basse pression est généralement considéré comme rempli pour une charge de l'ordre de 20 à 30 m dans les diamètres courants. Il subsiste un effet de porosité mais qui répond à une perte de charge telle que les circulations sont pratiquement annulées. Pour les très grands diamètres, ou dès que la charge dépasse une cinquantaine de mètres, la résistance à la traction du béton est dépassée et les fissures deviennent suffisantes pour ne plus modifier l'absorption naturelle du rocher : c'est ce qui a été constaté en particulier aux essais de La Bathie pour Roselend. Par contre ces essais ont mis en évidence un accroissement de l'étanchéité dans le temps dû probablement à la fermeture des fissures sous l'effet du fluage.

Le revêtement agit ainsi par le gradient qu'il oppose aux infiltrations, la limite entre porosité et ouverture franche de fissures n'étant pas très nette et dépendant au surplus de la contrainte de compression pouvant résulter d'un fluage de l'excavation. La fonction d'étanchéité est donc liée à la fonction mécanique sur laquelle nous aurons à revenir en examinant l'équilibre mécanique et les procédés d'exécution.

L'étanchéité complète, à la porosité près, dès que la charge dépasse quelques dizaines de mètres, réclame soit l'application de la condition de Maurice Lévy (contrainte de compression supérieure à la charge) à la paroi, soit l'introduction d'une couche isolante.

La réalisation d'une précontrainte par injections de serrage à haute pression en deuxième passe est d'un effet discutable en raison de son irrégularité et n'a de valeur sûre que s'il est ménagé dans le revêtement un système annulaire spécial. Elle conduit en effet à un résultat complexe de contraintes de compression partielles et inégalement réparties, et de remplissage des fissures, non seulement les fissures de la zone ébranlée, mais aussi celles d'une zone au large rendue ainsi plus étanche que dans la structure initiale. Les essais montrent que l'eau passe progressivement derrière le revêtement qui ne se fissure pas nettement tant que la pression d'injection n'est pas dépassée : les pertes s'accroissent

sensiblement vers 50 ou 70 % de la pression d'injection, ce qui fait adopter communément pour celle-ci des valeurs majorant de 30 % la pression de service.

De très nombreux systèmes souples d'étanchéité ont été imaginés, et nous en passerons en revue quelques-uns plus loin.

D'assez nombreux incidents d'exploitation (Lardit, Saint-Génies-O-Merle) ont enfin attiré l'attention sur les contraintes longitudinales développées dans les revêtements des galeries sous l'effet thermique et sous l'effet de poussée sur les vannes à la tête aval. Les désordres dus aux infiltrations sont particulièrement graves en raison de la faible couverture et des poussées au vide exercées sur le massif rocheux. Il convient de s'en prémunir par des joints transversaux, soit encore en armant longitudinalement la partie aval du revêtement.

Disons encore un mot du *gunitage* qui complète souvent économiquement l'éanchéisation locale avec des mortiers du type Sika. La gunite a l'avantage d'être plus plastique que le béton et de donner un certain colmatage des fissures; par contre, elle n'introduit aucun gradient dès que la charge est quelque peu élevée, et elle se comporte comme une « peinture » très peu déformable. Aussi peut-elle être, selon les cas, relativement efficace ou totalement inefficace, et l'expérimentation pourra être souvent utile. Il faut également que son adhérence au rocher soit bonne pour éviter les cloquages : l'essai minéralogique permet de s'assurer sur échantillon si le phénomène physico-chimique de contact permet d'escompter une certaine résistance à la traction de la zone de contact. Dans la plupart des cas, la gunite est davantage un moyen économique de protection contre l'altérabilité qu'un moyen sûr d'étanchéité. Notons qu'un bon gunitage est à faire en deux couches, la première avec accélérateur de prise, le gunitage simple sans contrôle de l'adhérence pouvant être totalement inopérant. La gunite armée, où l'emploi du grillage semble plus recommandé que celui de l'armature en raison d'une meilleure répartition des efforts, est efficace en reprise sur un revêtement pré-établi ou une forme, celle-ci ayant pu se tasser sous l'effet du fluage et prendre une assiette durable.

IV. — PROTECTION ET STABILITÉ CHIMIQUE DU ROCHER

Bien que la plupart des galeries d'adduction hydro-électriques traversent des massifs où les zones métamorphiques prédominent, on ne peut conclure de leurs qualités mécaniques jugées a priori satisfaisantes, que leur équilibre chimique soit pour autant assuré. Les phénomènes d'altérabilité sont souvent difficiles à distinguer des phénomènes de décompression qui revêtent parfois l'apparence trompeuse d'une altération rapide. Dans certaines zones de broyage, une roche cristalline relativement saine d'apparence peu après la perforation, se transforme rapidement en masse plastique ou sans cohésion sous l'effet des pressions interstitielles de l'eau d'imprégnation : tel est le cas des granites de Nentilla ou d'Olette. Dans d'autres cas, on assiste à une évolution de caractère physico-chimique plus nette sous l'effet combiné de la décompression et des variations hygrosopiques : par exemple les granites de la Colagne ou certains gneiss du Pouget qui évoluent par altération des feldspaths.

Si l'altération rapide réclame de toute évidence la protection rapide, les phénomènes d'altération lente, là

où la qualité mécanique de la roche est satisfaisante, sont plus délicats parce que plus difficiles à déceler. Ce problème réclame le conseil non seulement du géologue, mais aussi du minéralogiste. En schématisant largement, on peut admettre que l'équilibre chimique du massif interne, réalisé avec des eaux d'imprégnation immobiles ou à faible vitesse de circulation, se trouve déplacé dès que ces eaux se renouvellent par la circulation dans le canal d'amenée ou par la modification de leur équilibre de pression.

M. le professeur CAPDECOMME minéralogiste de la Faculté de Toulouse, a inauguré une méthode d'étalonnage de l'altérabilité consistant à soumettre des échantillons de roche à une attaque accélérée par l'acide sulfurique étendu à 80° C. Les essais normalisés sont de deux ordres : l'un donne les pertes de poids spécifiques de poudres obtenues par broyage en fonction de la durée d'attaque, l'autre effectuée la même opération sur une éprouvette carottée de 2 cm de long et 1 cm de diamètre (fig. 5). On ouvre ainsi très largement l'éventail

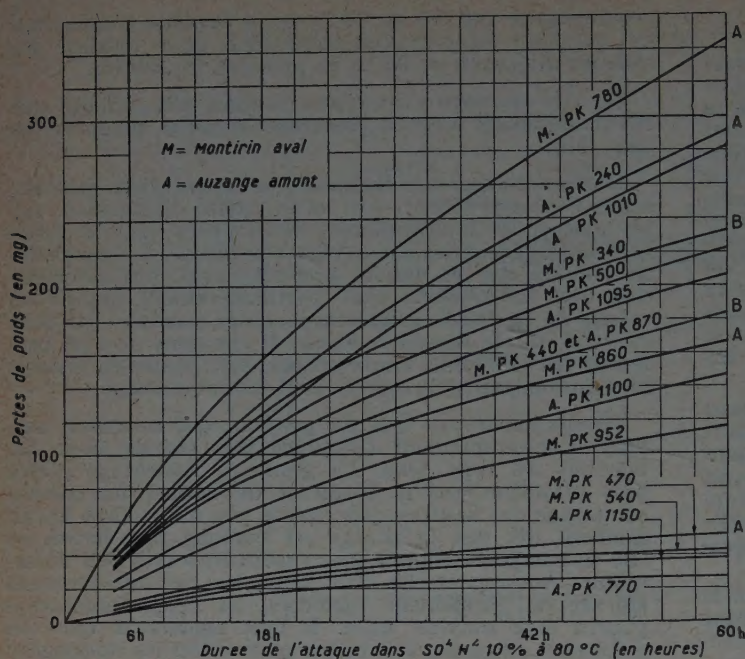


FIG. 5. — Essais d'altération sur éprouvettes cylindriques
D = 1 cm, l = 2 cm. (Bort REHMC).

de l'altérabilité et on constate que certaines roches ont tendance à la stabilisation ou révèlent des pertes spécifiques faibles (de l'ordre de 10 % à 8 heures en poudre), d'autres se groupant vers les pertes spécifiques fortes de 30 à 40 %. Dans l'état actuel des mesures où aucune loi entre l'altération artificielle et l'altération naturelle ne peut être établie, on est conduit à prendre une assez grande marge de sécurité et à n'admettre *grosso modo* l'absence de protection qu'au-dessous de 15 % à 8 heures. L'expertise se base en réalité sur un ensemble de renseignements provenant autant de l'analyse chimique et de l'examen en lame mince que d'une limite mathématique formelle tirée des essais d'attaque.

On peut espérer que la méthode sera d'autant plus sûre et d'application automatique que des corrélations plus nombreuses auront été établies entre les courbes d'essai et les altérations réelles sur des ouvrages anciens. Une telle compilation n'en est encore qu'à son début et peut être pourra-t-on lui attribuer une valeur et une simplicité d'emploi au chantier comparables aux essais de compacité des sols du type Proctor ou aux différents tests en usage pour les bétons. D'autres types d'essais sont d'ailleurs à l'étude dans d'autres laboratoires. L'emploi des agents réels d'altérabilité et d'analyses infinitésimales semblerait évidemment plus satisfaisant à l'esprit. Observons enfin qu'il resterait à les étendre aux bétons de revêtement eux-mêmes et à bien vérifier que l'on ne substitue pas en certains cas à la roche une protection qui lui serait inférieure.

Une autre catégorie de problème d'altérabilité pure se rencontre dans les traversées d'anhydrite, roche d'excellente tenue mécanique tant qu'elle est sèche. Par hydratation sous l'effet de l'humidité de l'air à la perforation, soit par infiltration dans le revêtement après mise en eau et sous des conditions encore mal élucidées, il peut se produire, en certains cas un foisonnement qui progresse à des vitesses d'au moins 1 cm par an, semble-t-il, et qui provoque des poussées considérables sur le revêtement.

A la Courbaisse le gonflement à l'air humide provoquait en quelques jours l'éclatement de blocs pouvant atteindre 10 kg. Inversement à l'Arly et à Isère-Arc aucune modification n'a été observée. Par ailleurs, les eaux séléniteuses, lorsqu'il y a circulation, attaquent le Portland et nécessitent des ciments fondus ou des ciments de laitier. Les anhydrites réclament une protection rapide aussitôt après perforation, par une application bitumineuse. Le revêtement, dès qu'il doit porter une charge notable, doit être d'une étanchéité absolue. Parfois on a émis l'idée que l'auto-serrage du revêtement dû à la contrainte provoquée par le premier foisonnement suffirait à assurer l'étanchéité, mais la répartition de cette contrainte a semblé trop aléatoire pour donner une garantie de sécurité suffisante. L'isolement par un chemisage en acier est souvent adopté. Dans la dérivation de l'Arvan, en section en fer à cheval, on a envisagé un système plus économique constitué par un feutre asphaltique type mammoth compris entre deux couches de béton : cependant l'anneau intérieur a été finalement armé pour donner plus de sécurité en cas de désordre dans un système de surveillance difficile.

L'idée d'un dispositif visitable pouvant être surveillé a souvent prévalu : la traversée est alors réalisée par une conduite posée en galerie. On trouve ce dispositif dans des ouvrages anciens comme Avrieux. La conduite en béton armé de forme ovoïde et les piliers de support ont été attaqués par les eaux séléniteuses à cause du choix des ciments et de l'absence de protection contre les ruissellements.

Plus récemment, à la Courbaisse (1), on a préféré une conduite visitable en tôle, la galerie étant protégée par un badigeon au coaltar et localement par des anneaux en béton sursulfaté. L'expérience montrera si l'on peut se contenter d'une couche mince risquant le cloquage ; en tout état de cause, les remèdes restent aisément applicables. Notons enfin que des voiles au large sont toujours nécessaires pour isoler les tronçons de gypse ou d'anhydrite des infiltrations provenant des sections courantes.

D'une façon générale, les remèdes à l'altération rapide sont soit le gunitage immédiat, soit le revêtement si elle s'accompagne de phénomènes de décompression.

Les incidents d'exploitation dus à l'altérabilité lente sont en réalité très rares pour ne pas dire inconnus : beaucoup plus souvent c'est l'altérabilité du revêtement lui-même qui en est cause. Ils portent soit sur des galeries anciennes exécutées à la chaux (Ance du Nord), soit sur des infiltrations d'eaux granitiques (Arèches, Sabart, Lamativie). Avec l'amélioration des ciments, l'analyse des eaux d'infiltration et des eaux industrielles, de tels incidents ne semblent plus guère à redouter. L'emploi systématique du ciment de laitier (Rhue, Treignac) représente à cet égard une bonne solution.

Le soin apporté aux problèmes chimiques sera toujours largement payant. Ainsi à l'Ance du Nord les travaux de gros entretien ont coûté en 33 ans 50 % des frais de premier établissement, plus une perte de production de 52 millions de kWh qui porte le coût réel à près de 100 %. Au contraire, des revêtements bien exécutés, étant donné la constance des conditions de température et d'hygrométrie, devraient être assurés de la pérennité.

(1) R. E. H. Alpes III (Entreprise E. I. T. P.).

V. — STABILITÉ MÉCANIQUE

En fait, la stabilité mécanique du système revêtement-excavation n'est pas totalement indépendante des effets d'altération et d'infiltration. Cependant, puisque nous voulons décrire séparément les différents facteurs d'un phénomène complexe, accordons tout d'abord quelque attention à la stabilité générale des versants le long du tracé.

Stabilité générale des versants.

Il s'agit là de ces glissements lents ou relativement rapides intéressant des masses de terrain amples ou limitées qui sont actuellement en puissance, et peuvent être déclenchés par une cause météorologique par exemple dont le risque est à l'échelle du temps humain plus qu'à celle du temps géologique.

La plupart des incidents graves d'exploitation en charge modérée, à part les altérations du béton que l'on sait mieux juguler maintenant, proviennent d'une insuffisance de la stabilité générale des versants et de la présence d'efforts dissymétriques pratiquement impossibles à maîtriser. Bien entendu, les infiltrations dues au désordre du revêtement accélèrent le plus souvent le désordre du terrain dès qu'une circulation ou une imbibition s'établit, et d'autant plus facilement que la couverture est faible, comme c'est le cas pour les têtes aval de galeries. A Prémont, le massif d'alluvions et de moraines glacières où est établi l'aqueduc glisse à une vitesse de l'ordre de 1 cm par an. Les déformations de profil en une quarantaine d'années ont été considérables (fig. 6); on ne peut guère que les suivre par des réfections successives en béton armé. Ailleurs, il a fallu ouvrir de nouveaux tracés comme au Baralet, comme au lac d'Oo où deux déviations successives ont été exécutées, comme à Escouloubre où une galerie de drainage s'est révélée efficace. Dans les zones de stabilité douteuse, il y aura avantage à s'enfoncer le plus possible en profondeur pour s'éloigner des mouvements de versant, même au prix d'un allongement important de l'aqueduc ou des fenêtres.

Si le choix d'un tracé peut être capital pour la stabilité future de l'ouvrage, on lui demande le plus souvent de s'accompagner d'une prévision préliminaire des revêtements et des longueurs d'appa-

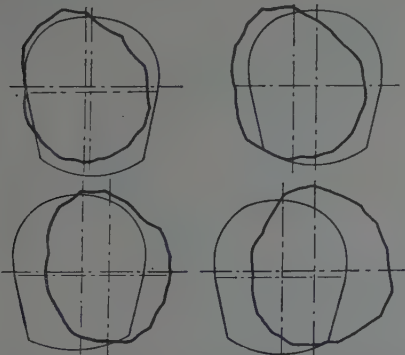


FIG. 6. — Déformation de la galerie de Prémont.

tion des profils type en vue de situer autant que possible les travaux à réaliser et leur incidence économique sur le projet. Cependant l'ingénieur ne peut demander au géologue une sorte de divination de la consistance interne des massifs où la nature et le nom de la roche ont moins d'importance que son état.

Il s'agit pour le géologue de passer d'un état macroscopique à l'échelle géologique dont l'étude repose sur des observations morphologiques, stratigraphiques et tectoniques, à un état « microscopique » en quelque sorte, qui intéresse une excavation à l'échelle du mètre, et dont la seule représentation visible est en surface. Ce n'est que par la reconnaissance et l'interprétation très détaillée des observations de surface et la multiplication des corrélations avec les états observés en profondeur après perforation, donnant notamment la direction et la nature des zones de broyage, que l'on peut espérer préciser les probabilités données à l'ingénieur avant l'exécution. Dans certains cas les procédés géophysiques, par mesure de résistivité ou de vitesse du son, peuvent donner des résultats heureux, notamment sur les profondeurs d'altération ou sur la présence de failles : ils sont pratiquement inapplicables jusqu'à présent pour les tracés en profondeur.

En fait, le projet d'un revêtement obéit à un empirisme à peu près total. On peut toutefois dégager quelques règles grossières, au moins valables pour les études préliminaires et les avant-métrés, où l'épaisseur du revêtement est liée au diamètre par une loi linéaire dans des conditions données. C'est ainsi qu'on peut admettre des épaisseurs théoriques de 15 cm ($D = 2$ m) à 35 cm ($D = 9$ m) pour le « bon rocher » ou les pressions de service modérées (10 m), de 20 cm ($D = 2$ m) à 50 cm ($D = 9$ m) pour le « rocher moyen » ou les pressions de service moyennes (30 m).

Il suffit cependant de constater la dispersion considérable des réalisations (fig. 7) et surtout le peu de rigueur

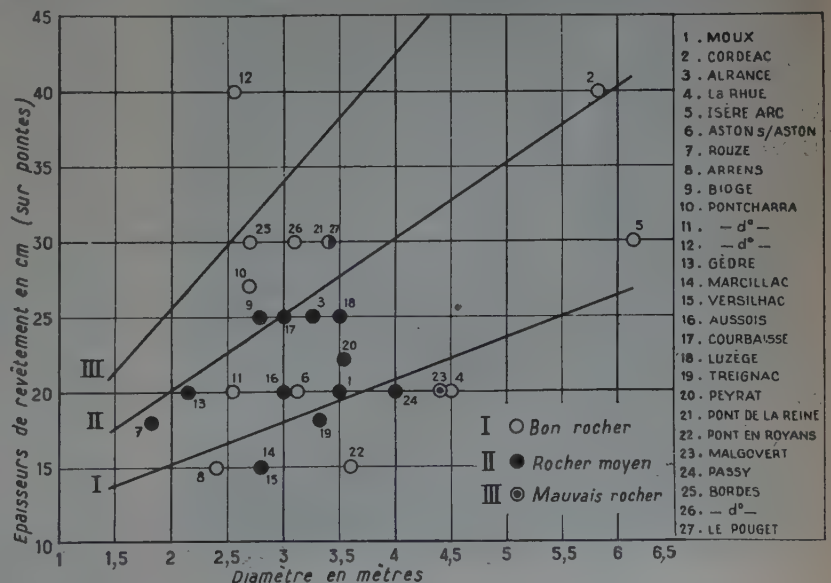


FIG. 7. — Épaisseurs de revêtement relevées sur diverses galeries.

avec lesquelles sont définies les caractéristiques physiques de l'excavation, pour considérer avec méfiance toute règle, même empirique.

De très nombreux auteurs ont tenté d'échapper à l'empirisme et de préciser les notions du calcul des revêtements : c'est un sujet que nous ne développerons pas, renvoyant à la bibliographie.

La difficulté provient, on le sait, de ce que ce n'est qu'accidentellement que les terrains rencontrés par les adductions hydrauliques sont d'un comportement parfaitement pulvérulent ou plastique dans le sens de la mécanique des sols, ou d'un comportement élastique pur. En général le terrain rocheux aura un comportement complexe que l'on rassemble sous le terme générique de mécanique des roches ou encore des terrains dits « semi-cohérents ».

Stabilité aux pressions extérieures.

Voyons comment se comporte la stabilité du revêtement aux poussées extérieures, c'est-à-dire son rôle de soutènement.

a) Les terrains pulvérulents ou plastiques se présentent le plus souvent à la traversée de failles remplies d'arènes, d'argiles ou de roches broyées et imbibées d'eau.

Quand la fluidification est grande, on peut admettre les hypothèses de la mécanique des sols avec un frottement interne faible ou nul, et par suite une répartition hydrostatique des pressions, et calculer le revêtement par la formule classique des tuyaux circulaires épais dès que l'appréciation de la hauteur de charge est quelque peu correcte. En bonne logique, on devrait prendre la hauteur de couverture comme la limite supérieure. En certains cas, on a pu ainsi admettre des possibilités de charge de l'ordre d'une centaine de mètres (attaque GA-

NIVET à la Colagne, Malgovert). Il est facile de démontrer que des cerces de soutènement en acier presque jointifs sont alors nécessairement déformés (fig. 8). Le revêtement vient alors en renfort du soutènement, et il travaille beaucoup plus avantageusement que ce dernier en raison de son épaisseur.

Dans de tels terrains, le revêtement circulaire sera de règle, car le fer à cheval a des courbures plus faibles ($2R$ en radier et en piédroits) et, par suite de sa dissymétrie, il résiste moins facilement aux moments fléchissants et à l'effort tranchant. De même, lorsque la roche est broyée de façon irrégulière ou donne lieu à des effondrements plus ou moins orientés du type « chapelle », il y a incertitude sur les poussées qui sont dues au poids de la zone sans cohésion. Elles ne suivent plus la répartition hydrostatique. Il sera utile de prévoir des armatures pour absorber la flexion.

Les efforts dissymétriques développés seront d'autant moins importants qu'il n'y aura pas eu amorçe de glissement ; il y a donc intérêt à faire un soutènement rigide et à faire suivre le revêtement définitif aussi près que possible de la perforation.

b) Le cas normal est un terrain rocheux diaclasé, dit semi-cohérent, c'est-à-dire avec une cohérence d'enchevêtrement marquée très variable selon la nature des roches. A l'état naturel, ce terrain est serré sous triple étreinte et il se comporte alors comme un solide élastique : le géologue HEIM considérant la multiplicité des poussées

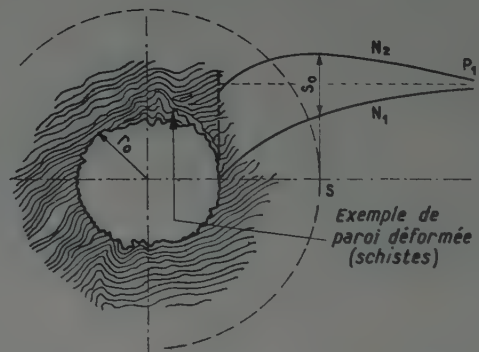


FIG. 9. — Contraintes principales après percement d'un tunnel, phénomène de décompression.

crogéniques et la capacité de fluage des massifs, même les plus durs, en est venu à admettre une répartition hydrostatique des pressions analogue à celle des milieux fluides. Lorsqu'on ouvre une excavation, la contrainte radiale s'annule et les contraintes principales tangentielles prennent des orientations très variables, fonction des conditions locales de clivage. Ces contraintes provoquent, soit par écrasement, soit par glissement, la décompression d'échantillons de taille plus ou moins importante. Il se produit, ce que semblent vérifier certaines expériences, un anneau de décompression, cette décompression pouvant se limiter et aboutir à un état stable, ou au contraire, se poursuivre de proche en proche (fig. 9). C'est ce qui explique la variété des constatations et des opinions sur le soutènement : soutènement souple du type Toussaint permettant un tassement avant la mise en place d'un revêtement rigide, ou soutènement rigide aussitôt après la perforation. Le rôle du revêtement est de limiter la décompression du rocher qui revêt



FIG. 8. — Déformation des cintres de Malgovert (REH Alpes I : Entreprise Industrielle).

une apparence d'écoulement plastique ou de fluage à une échelle plus ou moins longue. Au Simplon, la section de la galerie d'avancement fut considérablement réduite au cours d'une grève d'une quinzaine de jours (schistes sous très forte couverture). En revanche des excavations établies sous l'antiquité dans des terrains durs n'ont subi aucune déformation apparente; il est vrai qu'elles sont pour la plupart sous faible couverture. L'allure de la décompression est, bien entendu, hâtée par les circulations d'eau et les variations thermiques (cavernes préhistoriques dans le calcaire : entrées délitées et fonds intacts).

Théoriquement, on peut assurer la stabilité de l'élément local dont l'équilibre est le plus précaire en appliquant à la paroi une pression voisine de la compression naturelle interne du massif. Si l'on suppose en effet connu l'angle de frottement interne φ en chaque point, la cohésion étant négligée, on voit qu'une faible compression N_1 suffit à maintenir le cercle de Mohr $N_1 N_2$ à l'intérieur du domaine intrinsèque. Si N_1 et N_2 sont très voisins, la condition de stabilité est réalisée même pour des angles φ très faibles (fig. 10).

L'état de stabilité peut donc être réalisé par décompression lente, le revêtement supportant finalement une contrainte voisine de N_2 , ou par injections à une pression N_1 , qui peut rester inférieure à N_2 et d'autant plus petite que l'on peut compter sur le frottement interne. Bien entendu, il est inutile que la pression d'injection dépasse considérablement N_2 . Pratiquement, les galeries en faible charge, où le rôle de soutènement du revêtement est prédominant, seront injectées à basse pression (3 à 5 kg/cm²) la stabilité à long terme étant obtenue par deux effets combinés (adaptation et serrage).

c) Les terrains ne nécessitant aucun soutènement se rapprochent plus ou moins du cas du solide plus ou moins élastique (fig. 11), les contraintes tangentielles N_2 sont élevées mais en gros le terrain les supporte sans écrasement ni desserrage.

Une autre catégorie de poussées extérieures est celle des poussées hydrostatiques des eaux d'infiltration. On peut pratiquement les annuler en les faisant déboucher à l'intérieur de la galerie par des drains de captage ou par des clapets à boule. Lorsque ceux-ci sont bien pro-

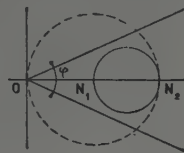


FIG. 10. — Stabilité du massif rocheux en état semi-cohérent.

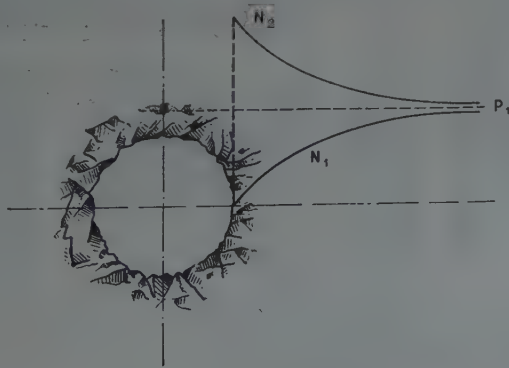


FIG. 11. — Contraintes principales après percement d'un tunnel. État élastique.

filés et réalisés en bronze, ils ne donnent lieu à aucun inconvénient d'exploitation. Cependant, sauf en terrain rigide comportant des venues d'eau à haute pression, le revêtement bien serré capable des poussées extérieures résistera *ipso facto* aux sous-pressions.

Stabilité aux pressions intérieures.

Le revêtement peut être calculé pour résister seul aux pressions. Cette règle est à suivre dans les terrains de faible couverture : théoriquement, lorsque la charge est de l'ordre de la couverture, la sécurité mécanique est assurée avec un coefficient d'environ 2 et la condition de renard est également remplie, quel que soit l'état de la roche.

Le calcul s'effectue par la formule des tuyaux, le taux de résistance à la traction des bétons devant rester admissible : pour les faibles charges de l'ordre de 10 m, on peut admettre 5 à 6 kg/cm². Pour les charges plus fortes, il faut adopter l'armature (grillage gunité ou fers ronds). Pour les très fortes charges au delà de 120 à 150 m ou lorsque l'étanchéité doit être absolue, on emploie classiquement le blindage.

Mais l'armature ne travaille pas économiquement, puisque les limites de travail à la traction du béton lui imposent une limite supérieure de 3 kg/mm². Aussi le blindage arrive-t-il à être acceptable malgré son prix élevé puisqu'il travaille couramment à 12 kg/mm², et même jusqu'à la limite élastique d'environ 30 kg/mm² en admettant que la participation du rocher donne la marge de sécurité. Cependant, le rôle des armatures ne consiste pas seulement dans un accroissement modéré de la résistance à la traction; avec un faible pourcentage elles substituent des fissures capillaires aux fissures ouvertes en reportant les tractions sur l'ensemble du périmètre.

Lorsque la couverture est suffisante, il est logique d'admettre la participation du rocher qui peut atteindre, nous l'avons vu, $N_1 = N_2$. Si N_2 est réalisé par injections, il suffit que le revêtement résiste à la pression extérieure N_1 , et non à la charge intérieure $P \leq N_1$. Cependant, il faut se prémunir contre les irrégularités locales d'injection, les relaxations, les retraits thermiques, en prévoyant une marge de compression susceptible d'éliminer le danger de fissuration ou de réaliser la condition de Maurice Lévy s'il y a lieu. Dans la pratique, on admet une pression d'injections d'au moins 130 % de la pression de service. Toutefois, dans certains terrains, la décompression et le serrage s'effectuent avec un certain retard et il sera nécessaire de procéder à des injections suffisamment espacées dans le temps pour que les ondes de pressions gagnent les zones décomprimées (incidents Moux et de San Antonio).

Bien entendu le serrage est sans objet et inopérant dans les terrains très plastiques : il suffit que la condition de la couverture soit vérifiée.

La pression de service statique doit évidemment être majorée de la surpression due à l'oscillation en masse et de la fraction de coup de bélier transmise, cette dernière étant secondaire. Dans certains cas la surpression peut être du même ordre de grandeur que la charge statique et l'incidence économique de la définition de la cheminée d'équilibre sur le revêtement peut n'être pas négligeable. Les temps de prise de charge de la surpression sont usuellement compris entre quelques secondes et quelques minutes et le module d'élasticité avec lequel réagira le revêtement s'approchera du module dynamique (350 000 kg/cm² par exemple contre 100 à 200 000

pour les charges permanentes). La surcharge affectera proportionnellement davantage le béton.

Précisons à cette occasion le rôle du rapport $K = E_b/E_r$ dans le partage des charges entre rocher et béton. La traction maximum dans le revêtement peut s'exprimer, en négligeant les termes de deuxième ordre, par :

$$t = P_0 [K + \frac{\varepsilon}{R} (1 - K^2)]$$

où P_0 est la charge de service, ε l'épaisseur et R le diamètre intérieur.

En première approximation, dans les cas usuels, t est proportionnel à K , ce qui a permis à plusieurs auteurs d'affirmer qu'il y avait intérêt à prendre des bétons de faible module ce qui, paraît-il, « était possible par certaines granulométries sans entamer la résistance ».

En réalité la formule démontre qu'il y a intérêt à faire croître E_R par serrage, puisque l'on substitue ainsi le module élastique de la roche serrée au module de déformation ou de serrage qui est en principe plus faible. Ainsi les mesures de Lucendro ⁽¹⁾ révèlent pour une qualité de rocher assez exceptionnelle un module initial de déformation de 120 000 kg/cm² contre un module élastique en cycle réversible de 400 000 kg/cm².

En ce qui concerne E_B on sait qu'il est lié à la racine carrée du taux de rupture à la traction. Plus exactement le module dynamique, seul susceptible d'une définition rigoureuse, répond à une formule expérimentale due à M. CHEFDEVILLE.

$$E_B = 70\,000 \sqrt{R_t}$$

Malgré l'arbitraire des rapports entre modules aux conditions de travail et module dynamique, reportons R_t et t sur un même graphique correspondant à des conditions usuelles données :

$$\left(\frac{\varepsilon}{R} = 0,1 \quad P_0 = 5 \text{ kg/cm}^2 \right) \text{ (fig. 12)}$$

⁽¹⁾ (Essais effectués par la Société Motor Columbus.)

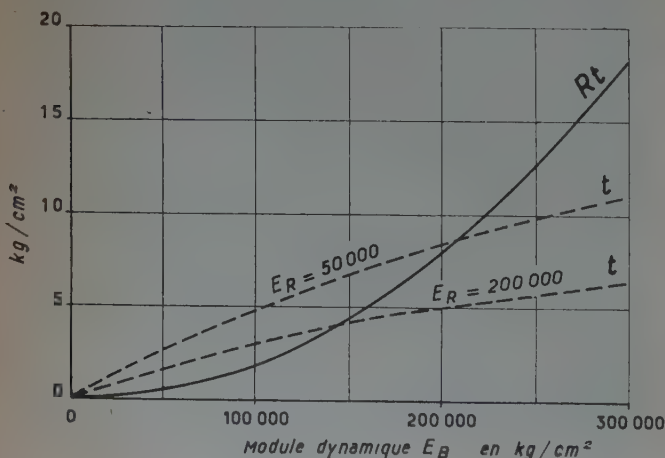


FIG. 12. — Influence de E_B/E_R sur la traction dans un revêtement.

La courbe pointillée supérieure correspondrait par exemple à un rocher médiocre ou à la phase de déformation avant serrage, la courbe inférieure à un bon rocher en régime élastique.

On constate immédiatement :

1° Que pour les faibles modules E_B il y a fissuration, d'autant plus facilement que E_R est plus faible;

2° Que le coefficient de sécurité du travail à la traction $\frac{R_t}{t}$ croît avec E_B .

Au risque d'exprimer une évidence on peut donc dire qu'il y a intérêt à employer de bons bétons, et d'autant plus que le rocher est plus déformable. La conservation en milieu saturé d'eau tend au surplus à leur assurer des qualités plus élevées (de l'ordre de 20 %) par rapport au béton en milieu sec.

Les incidents d'exploitation par fissuration dus à la pression sont une confirmation précieuse des règles de sécurité. On peut citer ceux de l'aqueduc de Sidney ($D = 3$ m, $e = 0,46$ m, charge 113 m) et de la galerie de Ritom (46 m de charge) comme dus à une insuffisance de couverture. Ceux de Catskill sont particulièrement intéressants comme donnant une limite supérieure en très bon rocher (granit très rigide) d'une galerie ($D = 4,30$ m, $e = 0,50$ m) exécutée sans serrage. La fissuration a eu lieu à 120 m de charge sous 80 m de couverture et à 165 m de charge sous 120 m de couverture : la participation du rocher a, ici, été très importante en raison de sa rigidité.

Mesures.

La pression naturelle du rocher est, nous l'avons vu, une donnée essentielle pour le choix rationnel d'un revêtement : pour la connaître, il faut la mesurer. Le principe le plus couramment appliqué consiste à mesurer la déformation consécutive à une libération des contraintes tangentielles, c'est-à-dire à découper un têtou soit par saignée au marteau-piqueur, soit par carottage. Les déformations sont mesurées soit par extensomètres mécaniques ou optiques (fig. 13), soit par jauges à résistance. Disposés en triangle, ils peuvent donner les



FIG. 13. — Dispositif de mesure : comparateur optique à deux trous.

contraintes principales. Dans un autre dispositif dû au professeur BERTHIER, une couronne de billes est reliée à des palpeurs qui lui impriment des déplacements, mesurés par comparaison photographique, l'avantage consiste à obtenir des mesures au fond d'un carottage de faible diamètre dont la profondeur peut être assez grande pour sortir de la zone de surface (fig. 14).

Il faut en outre connaître le module d'élasticité apparent pour traduire les déformations en contraintes. Nous avons dit qu'une roche ne se comporte à peu près élastiquement qu'après serrage, c'est-à-dire fermeture des vides intergranulaires, les cycles de compression et de décompression n'étant pas réversibles et présentant l'allure d'un cycle d'hystérésis. Ces données totalement imprévisibles sont autant de cas d'espèce. Si à Lucendro, on a constaté des modules de serrage très inférieurs aux modules élastiques, à Lovero au contraire, on a constaté que le changement de structure dû au serrage se produisait après une déformation initiale très raide.

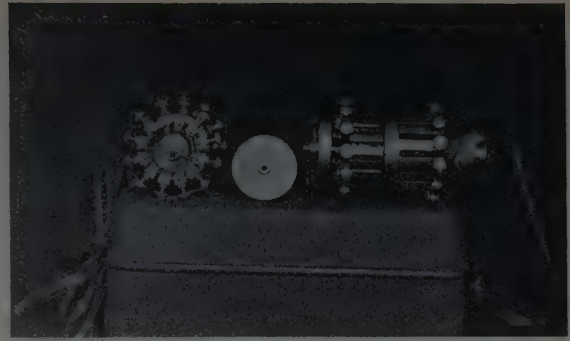


FIG. 14. — Dispositif de mesure : extensomètre Berthier.

- A. — Zone irrégulière très cassée;
- B. — Zone plus compacte;
- C. — Zone faible;
- D. — Zone compacte moins fissurée;
- E. — Zone fissurée;
- F. — Zone assez compacte;
- G. — Zone de broyage;
- H. — Conclusion des essais d'altérabilité;
- I. — Zone à revêtir;
- J. — Zone à guniter.

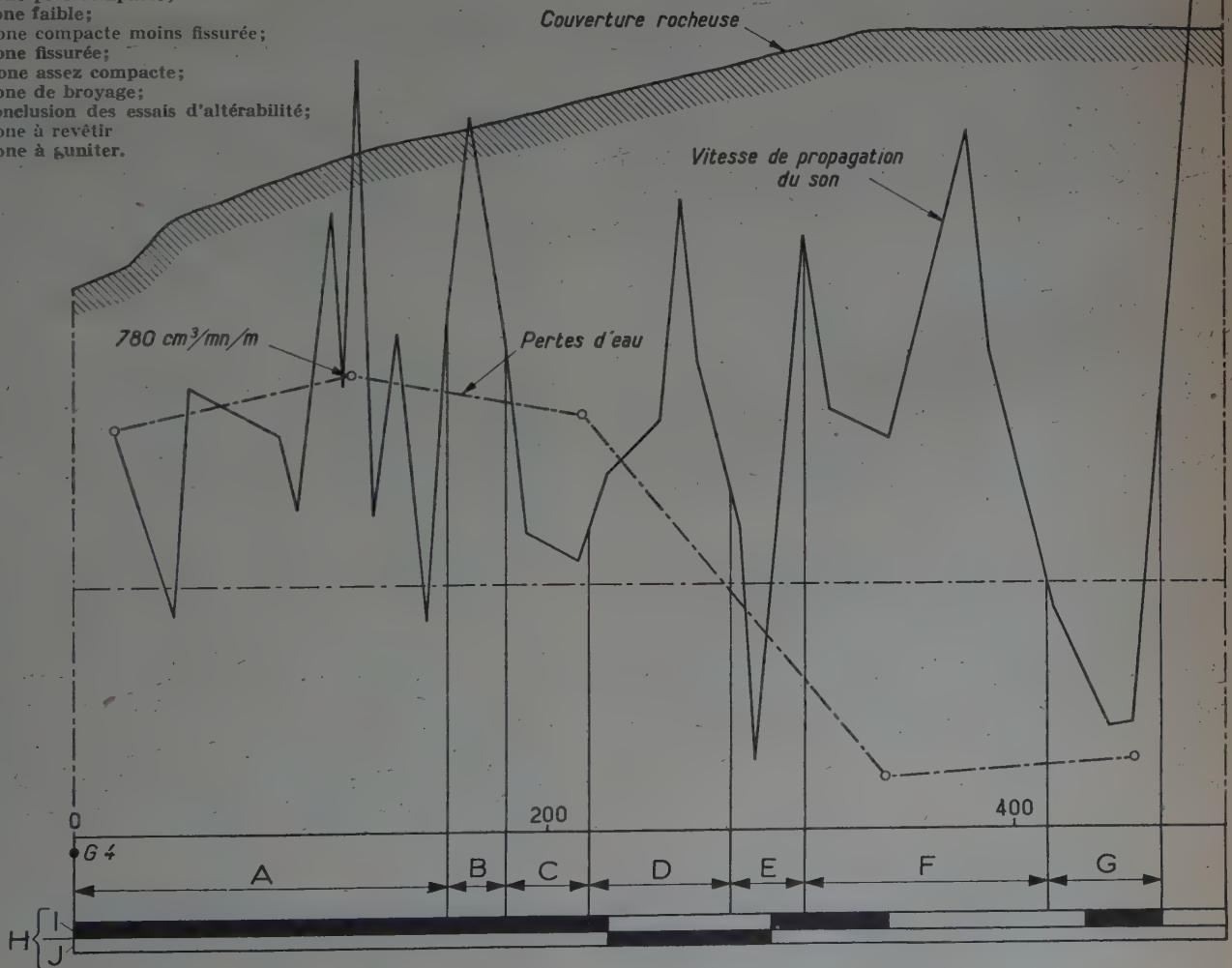


FIG. 15. — Courbes d'essais d'eau et altérabilité.
(Pragnères, REH Pyrénées-Atlantique.)

Les mesures de compressibilité s'effectuent au vérin disposé radialement dans la galerie, par des dilatomètres hydrauliques plats ou cylindriques, enfin par la mesure sur échantillon au laboratoire. Plus récemment, les mesures de propagation de la vitesse du son aux parois suivant divers procédés ont donné une mesure du module d'élasticité dynamique du rocher en place qui est fonction de la vitesse du son. L'intérêt de cette méthode est de donner également une corrélation intéressante de la vitesse du son avec le degré de fissuration une fois les caractéristiques d'échantillon connues. Combinée aux essais de perméabilité et à l'examen minéralogique, elle permet une appréciation qualitative générale (fig. 15).

Les modules de déformation ou d'élasticité d'une roche dépendent non seulement des forces appliquées et de leur durée mais aussi de leur direction vis-à-vis du clivage dans des rapports qui peuvent varier de 1 à 3 ou 4. Pour éliminer cette source d'erreurs, on a envisagé de mesurer la pression susceptible d'annuler la déformation provoquée par une libération des contraintes. Le vérin plat Freyssinet logé dans une saignée, a été utilisé. Le principe est sans doute susceptible d'autres dispositifs restant à imaginer.

VI. — PARTICULARITÉS D'EXÉCUTION

Il est bien entendu que le revêtement ne peut être un cylindre parfait d'épaisseur régulière. Les hors-profils sont très variables selon la nature du rocher et le plan de tir : en règle générale, les fortes charges et les volées longues vis-à-vis de la section majorent très rapidement le taux des hors-profils. Toutes choses égales, ce taux a tendance à décroître quand la section augmente : on constate des moyennes de l'ordre de 10 % de la section brute théorique qui peuvent s'élever à 20 % ou plus quand la schistosité est accusée. Mais l'incidence sur le volume de béton mis en place est évidemment beaucoup plus importante : A Péage de Vizille et à la Colagne, le cube mis en place a été supérieur de 110 % au cube théorique du projet ; à la Luzège, on a constaté des majorations de 50 à 100 % selon l'épaisseur. Aussi la section de béton peut-elle s'élever au tiers de la section perforée. En revanche, quand on prend en compte dans les calculs l'épaisseur sur pointes au lieu de l'épaisseur moyenne, on introduit une marge de sécurité supplémentaire, importante aux faibles épaisseurs.

Ce sont, bien entendu, des sujétions d'exécution (transports et ventilation) qui conduisent à employer très fréquemment le gabarit en fer à cheval, alors que du point de vue mécanique, la forme circulaire eût été préférable. Il y a là une nouvelle source d'accroissement du prix du revêtement par garnissage des écoinçons, particulièrement importante lorsque la conduite devient circulaire ou lorsqu'on a désiré donner au radier une courbure plus accusée pour résister aux pressions extérieures.

Bétonnage.

La plupart des réalisateurs soulignent la difficulté de mettre en place à l'air comprimé des épaisseurs sur pointes inférieures à 0,15 m et même 0,20 m : il faut multiplier les regards de vibration dans le coffrage et l'introduction des aiguilles est malaisée. D'autre part, l'épaisseur devient de l'ordre du diamètre du tube de distribution et la mise en place est irrégulière. Cette difficulté est moins grave dans le bétonnage à la main

Les essais en caverne avec notamment mesures des déformations radiales par comparateurs ou cordes vibrantes, ont été fréquemment exécutés préalablement pour vérifier les hypothèses ou les données de calcul des revêtements (Lucendro, Lovero, La Bathie-Roselend, Arrons, Rhue dans Bort. On les combine le plus souvent avec des mesures d'étanchéité. Leur inconvénient est d'être d'une mise en œuvre longue et délicate et de s'insérer difficilement dans le planning de travaux.

Les procédés de mesures en galerie devront tenir compte au premier chef de cette sujétion. Malgré la recherche de la simplicité ils s'exécutent souvent dans des conditions malaisées. Des procédés combinés, même s'ils donnent des corrélations assez floues, pourront être avantageux. Ainsi nous avons vu que l'essai d'absorption d'eau en forage poussé jusqu'à une pression assez forte, ce qui pourra se faire pour les faibles perméabilités, donne en outre un ordre de grandeur grossier de la compression interne du massif.

par tronçons courts ou dans l'exécution des radiers par répandage et nivellement où l'épaisseur sur pointes peut descendre à 5 cm. Ainsi, la recherche de sections « carénées », c'est-à-dire dotées de l'épaisseur minimum de construction, posera-t-elle des problèmes d'exécution particuliers auxquels se sont particulièrement attachés certains chantiers italiens. Après plusieurs difficultés de début qui ont fait parfois regretter à ce moment-là les techniques anciennes, on constate que l'usage du coffrage métallique et de la mise en place mécanique du béton est devenu absolument général.

Le coffrage métallique, vibré ou non, a éliminé les mauvaises finitions dues aux coffrages bois et supprimé définitivement l'enduit lissé. Cependant, il a fallu parfois renforcer les modèles utilisés qui s'avaient trop déformables. Avec des éléments télescopiques portés sur chariot et mis en place par vérins, on atteint, avec 3 jeux d'éléments, compte tenu des délais de séchage, une cadence journalière de la longueur de l'élément, soit jusqu'à 20 m.

Cependant l'avantage des mises en place à la main était de permettre l'emploi de bétons relativement secs. La pompe à béton et même les *placeurs* à air comprimé de faible puissance, comme le Johny, nécessitent un béton fluide qui est sujet à ségrégation pendant le transport, ou par gravité pendant la mise en place. Il subsiste des lits ou des nids de cailloux qu'il faut s'efforcer de réduire par une vibration minutieuse. La plasticité du béton est ainsi l'un des points importants à surveiller dans la mise en place mécanique : trop peu plastique, il remplit mal les vides des hors-profils ; trop plastique, dans le cas d'une mise en place en avancement continu sans masque, il prend une pente de talus trop faible.

Plus récemment, on a employé des « placeurs » plus puissants et dont l'encombrement vertical est moindre. Le Press-Weld comprend essentiellement une cuve en acier épais de 500 à 1 000 litres, remplie à la partie supérieure par une trémie. L'air est insufflé par un jeu de réservoirs (40 m³ d'air à 7 kg/m pour une cuve de 750 litres à Pont-en-Royans) alimentés par la station de compression. Différentes mises au point : disposition

du pointeau d'implantation, rayons de courbure, résistance à l'usure des conduites, etc., ont été nécessaires pour atteindre un fonctionnement satisfaisant.

La trémie est remplie par skip ou par wagonnets élevés à son niveau. Le transport par wagonnet conduit à la ségrégation dès que la distance à la bétonnière s'élève, malgré l'addition de plastifiants. Aussi, a-t-on utilisé le transport en « placeurs » dont le contenu peut être remalaxé en cours de route par injection d'air depuis un réservoir installé sur chaque train. Une autre formule bien connue, que l'on tend à employer dès que la section de la galerie le permet, est le *train à béton*, où la bétonnière est à proximité du placeur (Pouget, Pragnères). Cependant, il y a quelquefois difficulté dans la constitution du train par des matériels d'origines diverses et, lorsque le gabarit est faible, à faire coïncider les capacités de la bétonnière et de la cuve.

On citera pour mémoire les conditions d'exécution du joint piédroit-radier : il semble préférable de prolonger les piédroits jusqu'au fond de fouille ou jusqu'aux longrines en béton qui supportent parfois le soutènement.

Un nouveau principe de bétonnage est le *procédé Colcrète* ⁽¹⁾ employé à Passy (Diamètre 4 m charge 30 m) qui consiste à injecter un mortier malaxé à haute turbulence dans un squelette d'agréats mis en place à la main (les mises en place mécaniques par convoyeurs ou pneumatiques ayant été défectueuses en calotte). On a pris des galets de rivière de diamètre compris entre 30 et 120 mm; la recherche d'une bonne granulométrie a permis d'abaisser le pourcentage de vides de 45 % à 36 ou 40 %. Le coulis est injecté d'abord dans les piédroits, puis en calotte sous une pression finale de 4 kg/cm². Le procédé a donné de bons résultats pour la compacité du revêtement et surtout sa liaison au rocher; en outre, il supporte de petites venues d'eau, le colgrou ne se délavait pas. Il supprime, bien entendu, les injections de collage (un essai a donné une absorption inférieure à 7 kg/m²).

Par contre, le béton obtenu est raide (nous avons vu l'influence défavorable sur le taux des fatigues d'un accroissement de E_b/E_r) et sa résistance à la compression peut être localement médiocre, du fait de sa granulométrie singulière. En outre, il nécessite des coffrages renforcés susceptibles de résister à la pression d'injection et l'exécution de jous en béton entre chaque anneau. Aussi, son avantage, malgré l'économie d'injection, reste-t-il à examiner dans chaque cas : il semble, à première vue, devoir être employé avec intérêt dans les puits ou galeries inclinées (plus grande facilité de mise en place des agrégats) et dans les terrains à hors-profils anfractueux avec venues d'eau.

Le chantier de bétonnage mécanisé avec coffrage métallique et placeur est sujet à des cadences plus rigoureuses et se prête moins bien à la dépose des soutènements dans les cas difficiles. Aussi, est-on dans ces cas-là de plus en plus amené aux cadres métalliques combinés aux planches de béton préfabriquées (nombreux chantiers, et notamment Isère-Arc, Rhue) ou aux plaques métalliques (Aussois) qui peuvent être abandonnées dans le revêtement. Ailleurs (Marcillac) on a essayé des cintres en béton armé préfabriqués. Citons encore l'emploi d'épinglages du rocher par boulonnage de tirants, suivant la technique minière connue, comme se prêtant bien à l'exécution du revêtement [Isère-Arc, tunnel de Keyhole, U. S. A. ⁽²⁾].

Préfabrication.

On pourrait même imaginer que le soutènement soit totalement supprimé en faisant suivre le revêtement à l'avancement par des éléments préfabriqués bloqués à sec au rocher et injectés par la suite par des mortiers du type colgrou.

Si ce principe n'a pas été jusqu'ici poussé jusqu'à l'application systématique en soutènement, par contre l'emploi d'éléments préfabriqués en coffrage perdu semble de plus en plus en faveur, spécialement lorsqu'il s'agit de gagner du temps.

A la galerie du Torrent des Glaciers (fig. 16), il s'agissait de rattraper des retards dus à des sujétions d'altitude et à des venues d'eau et de pallier les difficultés

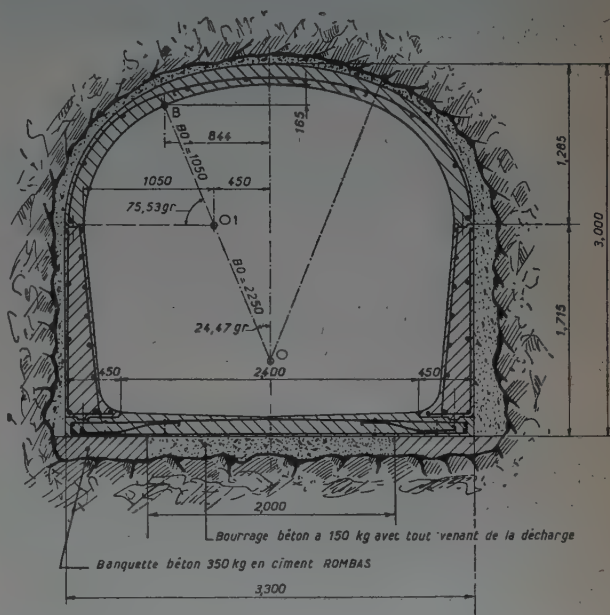


FIG. 16. — Dérivation du Torrent des glaciers (REH Alpes II).

de stockage des agrégats. Il a été utilisé des éléments de coffrage en béton armé préfabriqués en plaine (Montmélian), avec des agrégats de l'Isère. Les éléments ont 1,80 m de long en radier, 2,50 m en piédroits et 1 m en voûte et 20 cm d'épaisseur. Le radier est posé sur une banquette en béton et les mortaises de jonction sont hourdées au ciment. Le bourrage de béton est confectionné avec le tout-venant de la décharge. Le procédé permet de suivre de très près le front d'attaque avec un chantier de bétonnage bloqué sur un poste. On obtient une très grande vitesse de pose qui a pu atteindre jusqu'à 30 m par poste de 8 heures pour les piédroits et 45 m pour les radiers. Cependant la mise en place du béton et sa vibration sont malaisées.

La préfabrication des coffrages incorporés a été traitée en éléments beaucoup plus légers d'épaisseur réduite, par la technique du *béton sous vide*, à Pedrazzo et à Bolzano. Les voussoirs ont, dans chaque cas, 1,50 m x 0,47 m et 3 cm d'épaisseur, la courbure étant respectivement de 5,8 m et 1 m, ils sont armés par un grillage et le fini d'intrados est obtenu par un coffrage huilé. Le stockage a lieu aussitôt après, essorage au

⁽¹⁾ REH Alpes II : Société Les Travaux Souterrains.

⁽²⁾ Bureau of Reclamation.



FIG. 17. — Tunnel de l'Oued-Agrioun
(Électricité et Gaz d'Algérie : Entreprise Campenon-Bernard).

vide et passage à l'étuve à 65°. La production à Bolzano (100 000 m² au total) a été exécutée à raison de 200 m² par jour, soit encore un élément par 8 mn et par banc de fabrication. Les pertes par manutention ne dépassent pas 3 %.

D'autres réalisations ont utilisé des procédés analogues, notamment en Algérie : Benu Bahdel, Oued Agrioun et

Oued Fodda, ou localement lorsque la rapidité d'exécution importait (passage de la faille d'Argentat, à Treignac). La préfabrication est encore utilisée dans les types spéciaux qui seront décrits plus loin, utilisant la précontrainte des éléments de revêtements. A l'Oued Agrioun (fig. 17) pour un tunnel d'un diamètre de 3 m en fer à cheval, on a combiné la préfabrication (coffrages en plaques de 7 cm d'épaisseur posées sur cintres métalliques) avec le procédé colcrète (blocage en pierre cassée de forte dimension).

*
*
*

Derrière le bétonnage suit le chantier d'injections. Avant leur rôle de serrage, elles ont un rôle de collage pour remplir le joint béton-rocher, et surtout les cavités dues aux défauts de bétonnage qui peuvent représenter un vide moyen à l'extrados de l'ordre du centimètre ou davantage. Aussi, les absorptions varient-elles considérablement, non seulement avec la pression et la nature du rocher, mais aussi avec la qualité de la mise en place du béton. On constate dans la plupart des galeries en rocher moyen des poids moyens de ciment injecté à basse pression compris entre 25 et 60 kg/m² d'extrados. A Bioge, on a constaté dans des terrains identiques 20 à 22 kg dans les sections bétonnées à la main et 35 à 40 kg dans celles faites avec un Johnny dont la mise au point était encore imparfaite. L'emploi de coulis obtenus par malaxage à haute turbulence semble devoir se généraliser de plus en plus en raison de leurs qualités d'essorage et de tenue à l'eau.

VII. — REVÊTEMENTS DE TYPES SPÉCIAUX

Dans plusieurs cas, et notamment pour les fortes charges, on s'est efforcé de séparer les fonctions d'étanchéité des fonctions mécaniques. Le blindage d'étanchéité en tôle d'acier formant coffrage perdu donne une solution que beaucoup estiment encore être la moins coûteuse et la plus sûre, notamment si elle s'applique à des longueurs assez faibles. La difficulté réside dans la faible résistance du blindage aux sous-pressions et en particulier à celles développées par les injections. On y pallie par un soutènement provisoire pendant le bétonnage, ou encore par des épingles ou des goujons qui accrochent le blindage au revêtement. De telles techniques sont rarement utilisées en section courante sur de grandes longueurs et relèvent plutôt des conduites forcées souterraines. Nous ne nous y appesantirons pas. Indiquons cependant que le système Marinoni à revêtement ondulé en tôle mince n'a pas donné de bons résultats aux sous-pressions en raison de la grande déformabilité qu'il se proposait. Ailleurs on a essayé d'enfermer la couche d'étanchéité entre deux anneaux de béton, l'anneau intérieur résistant aux sous-pressions. C'est selon ce procédé que l'on a réparé la Gerlos. On interpose parfois également une couche de bitume entre un anneau de gunite armée et le revêtement primaire; il ne semble pas cependant qu'elle puisse s'opposer sérieusement aux effets de fissures de traction éventuelles.

A Sarca Molveno, on a procédé à plusieurs essais de revêtements spéciaux. L'un consistait en une couche d'étanchéité composée de trois feuilles successives d'aluminium de 0,2 mm enrobées de bitume à chaud. Le procédé s'est avéré d'application longue et compliquée et d'un coût probablement plus élevé que celui des injections de précontrainte. Il devient très délicat en cas de

venues d'eau en raison des cloquages. Un autre consistait à ménager un certain nombre de joints secs longitudinaux munis d'une lame d'étanchéité en cuivre. L'idée d'injecter du bitume à chaud ne semble pas avoir résisté aux difficultés de manier ce produit en galerie et d'obtenir une répartition régulière du coulis, fût-ce dans un espace annulaire spécialement prévu.

Malgré leur séduction théorique, les systèmes souples d'étanchéité n'ont pas jusqu'ici rencontré un grand succès autant par leurs défaillances que par leur prix de revient élevé. Cependant les expériences faites devraient conserver quelque intérêt pour les sections réclamant l'étanchéité absolue comme les traversées d'anhydrite.

Précontrainte par injections.

Nous avons vu que la précontrainte du revêtement, spécialement dans le cas des fortes charges, présentait l'avantage de réaliser l'étanchéité en maintenant une compression à la paroi.

La précontrainte par injections diminue en outre la déformabilité du massif rocheux par serrage et tendance au rétablissement de l'équilibre naturel, et elle améliore l'étanchéité par remplissage des fissures. Il est d'ailleurs, on l'a vu, difficile d'apprécier quelle est la part qui revient à la précontrainte proprement dite et celle qui revient à l'étanchement du terrain. Elle est d'un intérêt économique certain pour les charges modérées : malgré les dispersions considérables de l'absorption, l'injection à des pressions de l'ordre de 5 kg/cm² coûte en moyenne 10 % du prix de revêtement et elle se substitue avanta-

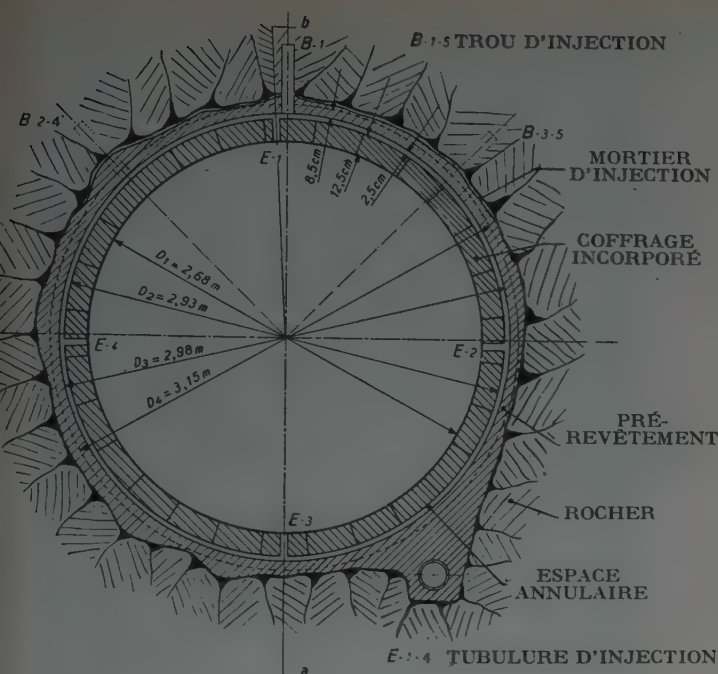


Fig. 18. — Procédé Kieser.

Bavière comprend une forme en béton et un anneau intérieur en voussoirs préfabriqués s'appuyant sur la forme par des têtens. L'espace annulaire est de 3 cm. L'injection débute par une passe au mortier jusqu'à courant continu par un tuyau de retour qui indique que le remplissage est terminé, puis une seconde passe au ciment est poussée jusqu'à une pression de 150 % de la charge de service : elle est maintenue jusqu'à durcissement pour compenser les fuites et la relaxation. Les relaxations mesurées ont été de l'ordre de 30 % de la pression d'injection, dont 20 % en fluage lent après mise en exploitation. Le procédé Kieser n'en est qu'à ses débuts : il semble susceptible d'être amélioré par emploi d'anneaux à grands éléments et par l'étude systématique des coulis.

Une technique analogue est en cours d'essai à La Bathie Roselend (fig. 19). Ici des anneaux gaufres servent de coffrage perdu pour le béton de forme et l'anneau intérieur est à deux éléments. L'espace annulaire d'injection est de 16 mm seulement. La mise en charge aux pressions d'essai s'effectue dans l'espace annulaire limité par une virole.

Une autre technique voisine a été employée à l'Oued Fodda (1) selon les brevets Freyssinet. Le diamètre est de 2,60 m et la charge de service de 50 m. Les terrains consistent en marnes grises et sables agglomérés souvent taillés au marteau piqueur, donc avec des hors-profil très faibles. La forme primaire en béton est réalisée selon le procédé Colcrete comme à Passy. L'anneau intérieur est formé de trois voussoirs de 120° d'ouverture préfabriqués en usine. Le vide annulaire de 5 cm est injecté au mortier colloïdal du type colgrout à une pression double à la charge de service : la relaxation reste de 25

geusement à un supplément d'épaisseur et aux armatures. A Moux (2), une traversée à faible couverture sous des marnes s'étant fissurée après mise en eau, une nouvelle injection a suffi pour rétablir l'équilibre du terrain et fermer le revêtement. C'est en Italie que la technique des injections de précontrainte à haute pression, exécutée en deux passes ou par passes successives à pression croissante, a rencontré le plus de faveur. Citons en particulier les galeries de Mollaro (2) (113 m de charge totale coup de bélier compris pour un diamètre brut de 6 m) et de Santa Massenza (40 m de charge, 5,50 m de diamètre). A Lovero, le revêtement simple de 40 cm d'épaisseur fut injecté en deux passes respectivement de cinq et dix fois la charge. Les pertes furent inférieures à 0,24 l/mn/m et se colmatèrent rapidement. Cette technique reste cependant délicate, et l'expérience a montré qu'il fallait un coefficient de sécurité important vis-à-vis de la contrainte escomptée et difficile à obtenir pour les très fortes charges.

Plus récemment, on a envisagé de discipliner l'injection dans un espace annulaire en vue de réaliser une précontrainte plus sûre et plus régulière. La plus ancienne application du procédé remonte vraisemblablement à la réparation d'Eylie en 1942 (charge 40 m). La galerie d'un diamètre intérieur de 2,50 m traversait une zone pulvérulente qui avait provoqué la fissuration oblique du revêtement par effort tranchant. Par manque d'acier et de ciment, l'anneau intérieur a été réalisé en planches de chêne assemblées par rainures et par cerces. L'espace annulaire de 10 cm a été rempli par injection à basse pression : la tenue et l'étanchéité ont été depuis parfaites.

Le procédé Kieser (fig. 18) utilisé en Autriche et en

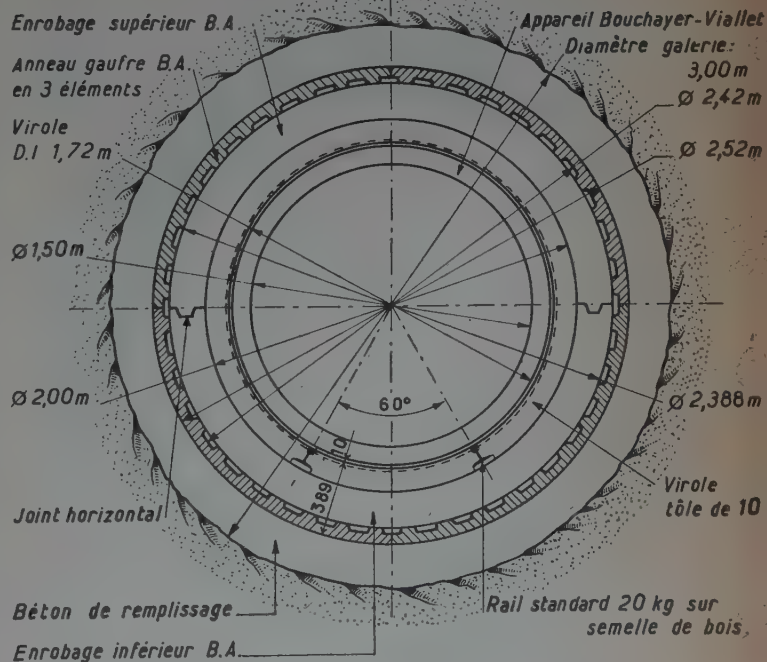


Fig. 19. — Chute de Roselend, chantier de La Bathie. Essais de précontrainte par injection d'un revêtement préfabriqué.

(1) REH Nord.
(2) Société Edison.

(1) Service de la Colonisation et de l'Hydraulique.
Entreprise Campeon-Bernard.

à 30 % de la pression d'injection, ce qui assure un large coefficient de sécurité. L'épaisseur totale du revêtement sur pointes est inférieure à 0,15 m, son prix serait seulement de 15 % plus élevé que celui d'un revêtement ordinaire de même épaisseur, ce qui représenterait finalement une économie importante de l'ordre de 30 % du revêtement classique serré par injections à basse pression.

On a enfin imaginé de compléter la pression d'injection par un anneau au *ciment expansif* : l'application se heurte jusqu'à présent à l'instabilité des ciments expansifs et de leurs caractéristiques de relaxation. Il semble cependant qu'il y ait là une voie intéressante ouverte à la recherche.

Précontrainte par spire en fil d'acier.

La précontrainte a été en outre réalisée par *spires de fil ou câbles d'acier*. La première réalisation est celle des conduites de Marèges due à M. MARY ⁽¹⁾. Les câbles sont placés dans des tubes noyés dans le béton et compriment un anneau de 4,40 m de diamètre et 0,30 m d'épaisseur. La mise en tension est faite par deux vérins opposés provoquant une déformation radiale du câble, qui est ensuite calé au ciment à durcissement rapide.

(1) Entreprise Ballot.

FRETTAGE PAR FIL D'ACIER TRAITÉ DISPOSÉ EN HÉLICE. ENROBAGE DE BÉTON DE 2,5 cm D'ÉPAISSEUR

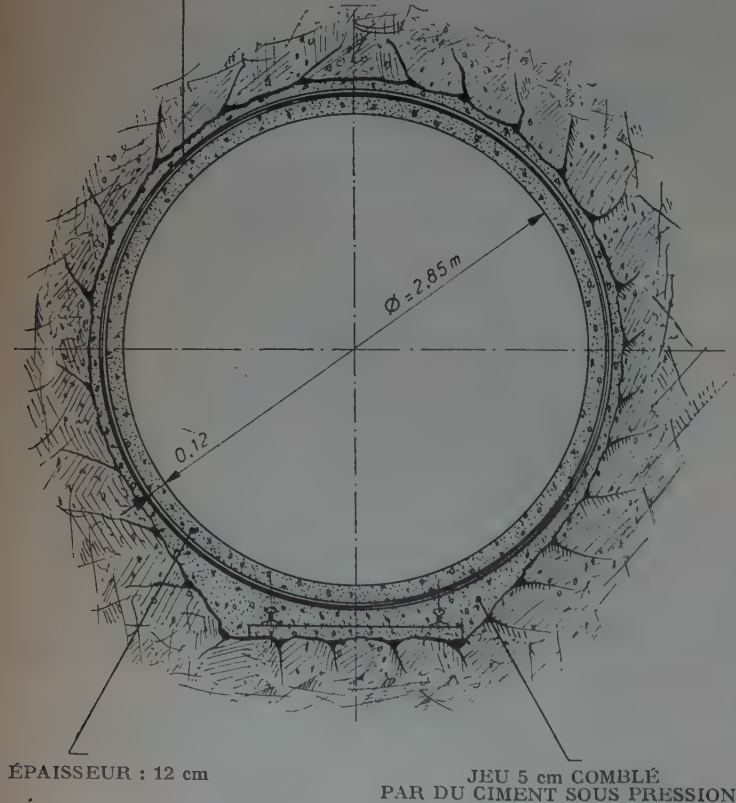


FIG. 20. — Galerie de Mucone (Sociétés Ferrocemento et Vacuum concrete).

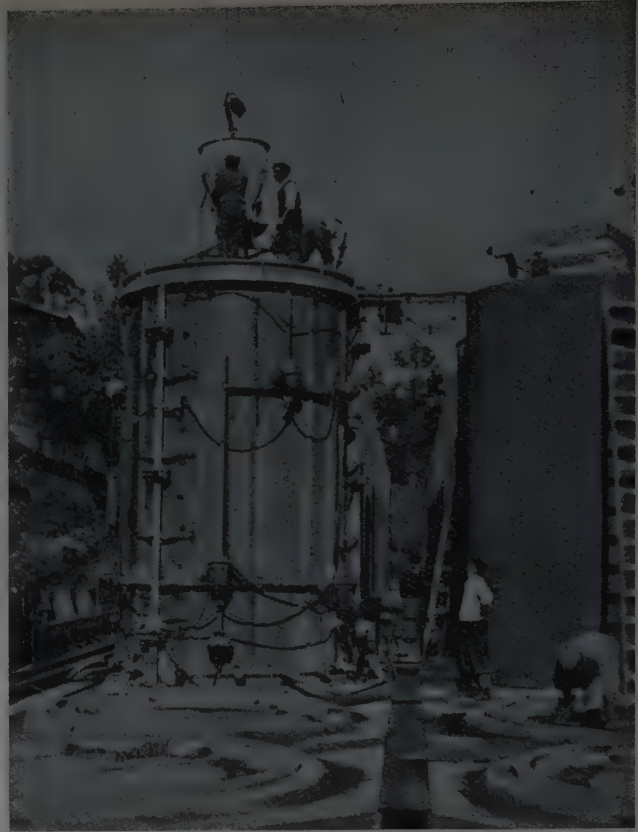


FIG. 21. — Mucone, Fabrication du tuyau.

L'attention fut attirée par la suite sur la présence de contraintes d'extension longitudinales dues en partie à l'effet thermique, et sur la nécessité d'y pallier par une précontrainte longitudinale. C'est ce qui fut réalisé dans le siphon de traversée de la Seine de la Frette.

Un exemple récent de système combinant divers procédés : frettage à fil, béton sous vide, et serrage annulaire par injections, est la galerie de Mucone. La charge varie de 75 à 125 m pour un diamètre de 2,85 m (fig. 20 et 21). L'anneau intérieur est constitué par des viroles de 5 m de long, de 11 à 12 cm d'épaisseur, en béton armé précontraint dosé à 400 kg. Les viroles sont coulées dans un moule métallique, vibrées et serrées sous vide. Après durcissement, le tube est fretté par un fil enroulé en hélice, puis le fil est enrobé par une couverture en béton, elle-même serrée sous vide. L'économie de ce procédé assez complexe résulte de la rapidité de fabrication due au traitement sous vide, la production atteignant cinq viroles par moule et par 24 heures. En outre, la résistance du béton atteint 400 kg/cm² à 28 jours. L'espace annulaire de 5 cm ménagé entre les viroles et la forme primaire est injecté au coulis de ciment.

Les procédés par précontrainte semblent appelés à devenir les procédés normaux d'exécution des galeries en forte charge, au moins pour les terrains de qualité moyenne et de faible module d'élasticité. Tous les procédés d'exécution de tubes précontraints peuvent s'adapter à ce problème; encore faudra-t-il que s'établisse dans notre pays une conviction plus sûre sur l'intérêt d'un système plus complexe d'exécution, mais plus économe de matière.

VIII. — CONCLUSIONS

Le choix d'un revêtement est toujours une synthèse de conditions et de fonctions multiples. On peut considérer que certaines d'entre elles sont purement économiques comme l'écoulement et dans une certaine mesure l'étanchéité : d'autres, une garantie nécessaire de bonne exécution comme la stabilité chimique et la stabilité mécanique. Si l'on se pose seulement la question de revêtir ou non, une seule de ces conditions prise isolément peut être d'un intérêt douteux, mais on comprend que l'enrichissement cumulé des deux premières s'ajoutant à l'accroissement de sécurité conduite assez souvent aux sections revêtues. Dans les techniques courantes et pour les prix que nous connaissons, il y a précisément une large zone d'incertitude pour la condition d'écoulement, qui est pratiquement prédominante pour un bon rocher étanche sous la charge considérée. Nous en arrivons autrement dit à un point où l'imprécision scientifique se trouve élargie largement par l'imprécision des prix qui se trouve elle-même élargie par les fluctuations du taux d'intérêt. La doctrine peut ainsi facilement évoluer dans un sens ou dans l'autre selon que l'on s'orientera vers l'excavation bon marché, ce que l'on pourrait appeler les « conditions suédoises », ou vers des revêtements minces et économiques qui supposent de plus un bon réglage.

Cependant il est rare que les galeries traversent des masses homogènes et de conditions constantes. Il faut se mettre en garde contre un choix trop intellectuel des profils type qui aboutirait à des variations d'exécution trop fréquentes. Une vue économique d'ensemble de l'organisation des travaux devra venir, le cas échéant, corriger les conclusions du projeteur, et l'aspect industriel de l'exécution pourra dominer une adaptation trop rigoureuse aux variations des données. La solution la plus avantageuse pourra être une moyenne ou un compromis : il faudra donc pouvoir manier la théorie mais en tenant compte des conditions à rencontrer sur toute la longueur de la galerie.

Une constatation intéressante la structure des projets est la faible influence économique de la charge dans des conditions convenables de couverture et de perméabilité. Tant que l'on peut demeurer en section brute, elle n'intervient que par l'accroissement linéaire des pertes ; en section revêtue, la participation du rocher par serrage conduit à un coût modéré vis-à-vis du revêtement sans participation. Il en résulte par exemple des tendances relativement récentes à éviter davantage le fractionnement des chutes par des centrales de pied sous les réservoirs (Roselend) ou encore à caler les prises d'eau au plus près de leur limite inférieure. En ce cas d'ailleurs l'accroissement de couverture compense en général l'accroissement de charge. Lorsque la charge ou la condition du rocher devient telle qu'une partie importante des efforts doit être absorbée par le revêtement, les procédés par précontrainte permettent des coûts sensiblement plus bas que ceux du blindage ou de l'armature.

L'appréciation du coût de la charge est un problème qui se pose également au projeteur lorsqu'il a à choisir entre une usine extérieure et une usine souterraine à long canal de fuite. Le type d'usine suédois s'explique ainsi parfaitement par la plus grande économie des sections brutes et l'étanchéité médiocre des granites sous faible couverture. On retrouve en France des conditions assez voisines pour

les chutes à fort débit dans les lias de bonne tenue, mais de faible étanchéité (Serre-Ponçon, Commiers).

Les avant-projets d'aménagements ne peuvent être étudiés que sur des données préliminaires du revêtement reposant sur des corrélations avec d'autres réalisations : corrélations de surface pour le géologue, hypothèses approximatives sur les rugosités et les contraintes. Le projet de revêtement proprement dit ne peut s'appuyer que sur des mesures (déformations, module d'élasticité, rugosité, altérabilité, étanchéité) effectuées soit sur des tronçons d'essais, soit sur les parois du tunnel même. Ces mesures ne peuvent s'effectuer qu'à l'exécution. Lorsque le tunnel est une pièce importante, il y a même intérêt à essayer sur les différentes qualités de roches rencontrées les types de revêtements envisagés, comme à Lovero. Le coût et la difficulté de tels programmes expérimentaux seront largement compensés par la plus grande précision du projet d'exécution. C'est aussi par la multiplication de telles mesures que l'on peut espérer améliorer les corrélations qui donneront quelque précision sur les projets de revêtements préliminaires qui, répétions-le, engagent pratiquement la structure du projet général de l'aménagement.

Nous ayons donné un aperçu de certaines techniques spéciales d'exécution. Bien entendu, elles restent à juger par leur coût vis-à-vis des techniques plus classiques, ce qui sera souvent fonction des conditions locales d'exécution. Cependant, il se dégage une tendance assez nette à s'affranchir par la préfabrication des soutènements relevables et des coffrages mobiles. Le passage d'un stade artisanal à un stade plus industriel, réduisant les durées de travail en souterrain, s'affirme de plus en plus.

En particulier l'exécution des radiers pourrait s'affranchir du pénible nettoyage des déblais compactés par la circulation, soit par les méthodes de préfabrication ou de durcissement rapide opérant immédiatement derrière le marinage, soit par des méthodes de revêtements routiers répandus sur la couche de déblais. De telles solutions seraient susceptibles de modifier l'aspect des transports en galerie en moyenne et grande section, où le roulage sur engins à pneus pourrait être plus avantageux et plus souple que le rail.

Ces diverses considérations, telles que l'usage d'éléments préfabriqués, le réemploi des coffrages, la possibilité de disposer de trains à béton normalisés, de mécaniser l'exécution des radiers, conduiraient également à envisager une certaine *standardisation* des sections type, qui répondrait sans doute à d'autres avantages analogues pour l'emploi optimum des matériels de perforation. La faible variation des bilans économiques théoriques en fonction du diamètre justifierait entièrement des standards en nombre assez réduit s'il devait en résulter un avantage sur le coût d'exécution. Ceci suppose, bien entendu, une continuité des programmes et une rationalisation du matériel de chantier quelque peu illusoire dans les circonstances présentes. En tout cas, l'empirisme qui dominait il y a quelques années encore la technique des revêtements souterrains, devra de plus en plus tenir compte des enseignements récents, tant en calculs qu'en essais et en pratique d'exécution, dont nous venons de donner un aperçu imparfait, mais aussi étendu que possible.

CONCLUSION DU PRÉSIDENT

M. ROUSSELIER vient de vous faire un remarquable exposé des problèmes soulevés par le revêtement des galeries d'amenée d'eau d'un équipement hydroélectrique.

Il a attiré votre attention sur l'importance de la détermination du profil en travers, brut ou revêtu, compte tenu des prix relatifs de l'excavation et du revêtement. Je voudrais simplement ajouter un mot.

Le devoir du constructeur est d'établir des souterrains aptes à remplir le rôle qui leur est dévolu, en assurant la sécurité maximum d'exploitation, pour que, dans sa longue vie, l'ouvrage ne donne lieu qu'à des entretiens insignifiants (un arrêt de souterrain en exploitation étant une opération toujours coûteuse par le manque de production qu'il provoque). Il faut donc construire solide. Mais il faut aussi construire aux moindres frais.

Il faut faire ce qu'il faut, mais seulement ce qu'il faut. Un excès de prudence coûte très cher. Et encore peut-on se demander, dans certains cas, si le fait de revêtir une roche excellente constitue un excès de prudence.

On devra donc, dans chaque cas d'espèce, M. ROUSSELIER a bien appuyé sur ce point, peser avec soin les prix relatifs des différentes solutions et ne revêtir que si le revêtement est payant : payant en pertes de charges, payant en sécurité, payant en étanchéité.

Dans cette étude, le prix du béton mis en place intervient certes, mais la quantité de béton à mettre en œuvre

est l'élément primordial. Nous constatons, hélas ! trop souvent, combien les différences peuvent être fortes entre la prévision théorique et la réalisation : Les hors-profils sont considérables.

Certains sont inévitables, et on en tiendra compte au moment de la fixation du projet. Mais je suis persuadé que la plus grande partie pourrait être évitée par une méthode de travail appropriée :

Étude judicieuse du plan de tir, situation des trous de couronne, dosage de l'explosif en quantité et qualité, abattages systématiques de réglage, aménagement des matériels de coffrage, et de mise en place du béton, etc.

Des adoucissements aux exigences du Maître de l'œuvre dans les épaisseurs minima et les délais d'exécution, une réduction astucieuse des prix du bordereau peuvent agir eux aussi, et beaucoup.

Je demande aux projeteurs et aux entreprises de se pencher sur ce problème capital.

En tous temps, et plus que jamais aujourd'hui où les problèmes de financement sont particulièrement cruciaux, nous devons rechercher le minimum de prix de revient de nos installations.

Le revêtement des galeries est un poste très important dans ce prix de revient.

Notre devoir est de le réduire au minimum compatible avec la sécurité de nos ouvrages.

BIBLIOGRAPHIE

MAILLART (R.), Construction des galeries en charge. *Bulletin technique de la Suisse Romande* des 28 oct., 11 nov. et 9 déc. 1922, 17 fév. et 3 mars 1923.

ANDRAE (C.), *La construction de longs tunnels à grande profondeur*. Ed. Springer, Berlin, 1926.

— *Les grands souterrains transalpins*. Zurich, 1948.

TALOBRE (J.), Considérations théoriques sur la technique des souterrains profonds ou sous forte charge d'eau. *Travaux* (nov. 1949).

ROTHPLETZ, ROHN et BUCHI (Rapport des Chemins de Fer Fédéraux Suisses).

1° Formation des fissures dans la galerie sous pression de l'usine de Ritom (20 sep. 1920). (Voir également *Génie Civil*, 23 avril 1921 et 15 sep. 1923.)

2° Galerie de l'Usine d'Amsteg (Commission des galeries d'amenée) : nov. 1923. (Voir également *Schweizerische Bauzeitung* des 5 et 19 janv. 1924 et *Génie Civil*, 1^{er} mars 1924.)

DIVERS AUTEURS, Exécution des travaux des galeries de Treignac, de la Luzège et des Rhues dans Bort. *Le Monde Souterrain*, n° 67-68 (1951).

GOGUEL (J.), Répartition des contraintes autour d'un tunnel cylindrique. *Annales des Ponts et Chaussées*, n° 3 (1937).

KASTNER (H.), Ueber den echten Gebirgsdruck beim Baut iefliegender Tunnel. (La poussée naturelle des terres dans la construction des tunnels de grande profondeur.) *Oesterreichische Bauzeitscheift* (oct. et nov. 1949).

FOULQUIER (P.), Actions sur les souterrains. *Travaux* (janv. 1947).

FREY-BAER (O.), Die Berechnung der Betonauskleidung von Druckstollen. (Calcul du revêtement en béton des galeries sous pression.) *Schweizerische Bauzeitung* (30 sept. et 7 oct. 1944).

ANDRAE (C.), Der Einfluss der Ueberlagerungshöhe auf die Bemessung des Mauerwerks tiefliegender Tunnel. (Influence de

la hauteur de la couverture sur le dimensionnement de la maçonnerie des tunnels à grande profondeur.) *Revue Polytechnique Suisse* (7 fév. 1925).

KOMMERELL (O.), *Statische Berechnung von Tunnelmauerwerk*. (Calcul statique de la maçonnerie des tunnels.) Berlin, 1940.

KASTNER (H.), Ueber die Bemessung von Tunnel- und Stollen auskleidungen bei Auftreten von echtem Gebirgsdruck. (Dimensions des revêtements des tunnels et galeries en fonction de la poussée naturelle des terres.) *Oesterreichische Bauzeitschrift* (mars 1950).

TRUB (J.), Calcul de blindages circulaires pour galeries sous pression. *Bulletin technique de la Suisse Romande* (16 août 1947).

BERTRAND (M.), Technique du bétonnage des galeries des chantiers hydroélectriques. *Revue de l'Industrie Minérale* (mai 1950).

KIESER (A.), Wasserdichte Druck stollen und Druckschächte mit Kernring-Auskleidung. (Galeries et puits en charge étanches à revêtement annulaire.) *Schweizerische Bauzeitung* (10 et 17 juin 1950). *Oesterreichische Wasserwirtschaft* (oct. et nov. 1951).

— Neuartige Auskleidung von Druckstollen für Wasserkraftwerke. (Un nouveau mode de revêtement des galeries et puits en charge.) *Oesterreichische Wasserwirtschaft* (janv. et fév. 1950).

MARY (M.), Le frettage des conduites forcées de l'usine hydroélectrique de Marège. *Annales des Ponts et Chaussées* (avril 1936).

HENRY (Douglas M.) et OLSEN (Owen J.), Measurement of stresses in rock by the strain relief method. (Mesures des contraintes en rocher par libération des déformations.) *Rapport du Bureau of Reclamation*. Denver

FREY-BAER (O.), Die Dehnungsmessungen im Druckstollen des Kraftwerkes Lucendro. (Mesures de dilatation dans le tunnel en charge de l'usine de Lucendro.) *Schweizerische Bauzeitung* (11 oct. 1947).

NOVEMBRE 1952

Cinquième Année, N° 59.

Série : SOLS ET FONDATIONS (XI).

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 22 MAI 1951

SOUS LA PRÉSIDENTENCE DE **M. J. LEHUEROU-KÉRISEL,**

Professeur à l'École Nationale des Ponts et Chaussées.

LES GLISSEMENTS DE LA FALAISE DE SAINTE-ADRESSE

Par **M. M. BUISSON,**

Ingénieur E. P., Chef du Service des Constructions Immobilières du Bureau Véritas.

SOMMAIRE

	Pages.
Historique	1131
Observation des mouvements récents.....	1131
Géologie de la falaise.....	1136
Examen géotechnique.....	1136
Coupe des sondages.....	1137
Étude des nappes d'eau.....	1139
Surfaces de glissement.....	1139
Zones inférieures.....	1139
Zone supérieure.....	1139
Mécanisme des mouvements observés.....	1141
Zone A ₁	1141
Zone A ₂	1143
Zone B.....	1144
Conclusion	1145

ALLOCUTION DU PRÉSIDENT

J'excuse M. CAQUOT qui n'a pas pu présider cette conférence.

Vous connaissez tous M. BUISSON. Il est le distingué et actif secrétaire général du *Comité Français de Mécanique des Sols*. Auteur de nombreuses communications sur la Mécanique des Sols, M. BUISSON vient de jouer un rôle très important dans notre reconstruction. Le poste qu'il occupe à la tête du service de contrôle des constructions immobilières au *Bureau Veritas* le situait à la charnière de deux utilisateurs; les sinistrés d'une part, les assureurs d'autre part. Les premiers demandent un coût minimum, les seconds exigent des garanties de sécurité : M. BUISSON s'est toujours tiré de ces deux exigences à la plus grande satisfaction de tout le monde, grâce à ses connaissances très étendues en mécanique des sols.

Aujourd'hui, il va vous parler d'un problème qui est l'un des plus difficiles de la mécanique des sols; il s'agit du glissement des collines de Sainte-Adresse. Le problème du glissement des talus s'est posé au moment où les ingénieurs ont commencé à faire de grandes tranchées pour les canaux, ou chemins de fer ou routes. À un moment où le nombre des références françaises dans la littérature technique internationale va en diminuant, il est réconfortant de voir les Anglais consacrer dans l'un des premiers numéros de la revue *Géotechnique*, un long article à l'œuvre d'Alexandre COLLIN. Alexandre COLLIN (1808-1890) fut Inspecteur Général des Ponts et Chaussées au milieu du XIX^e siècle et c'est l'un des premiers qui se soit attaché à ces phénomènes de glisse-

ment de talus qui ont fait et continuent à faire l'objet de nombreuses communications en France et à l'étranger.

Il avait noté, au moment de la construction du canal de Bourgogne, des glissements de berges et il rédigea un mémoire dans lequel il remarquait que les glissements se faisaient suivant une courbe approximativement cycloïdale. Il définissait ensuite une méthode approximative de calcul des conditions de stabilité tenant compte de la cohésion sous charge nulle, ce qui est l'essentiel de la méthode publiée un siècle après sous le nom de méthode $\varphi = 0$ par MM. SKEMPTON et HOLDER, auteurs de cet article dans lequel ils rendent hommage à leur devancier français. Le mémoire d'Alexandre COLLIN fut refusé en 1840 successivement par l'Académie des Sciences et par la Commission des *Annales des Ponts et Chaussées*.

Il fut imprimé en 1846 à la suite de souscriptions généreuses.

M. BUISSON va vous parler avec toute sa compétence de ce problème particulier appliqué au Havre. Les sinistrés du Havre par l'importance des dégâts de leur ville s'inscrivent en tête du palmarès de nos cités martyres; il a fallu que s'ajoutent aux sinistres immobiliers des glissements très importants de terrains qui, compromettant l'urbanisme des zones avoisinant Sainte-Adresse, ont nécessité la consultation du spécialiste très qualifié qu'est M. BUISSON.

Je lui cède la parole. Nul doute que vous ne portiez le plus vif intérêt à sa communication.

RÉSUMÉ

La falaise de Sainte-Adresse au voisinage du Havre a été dans les temps passés soumise à des mouvements renouvelés plus ou moins importants qui, en 1944, ont été fortement accentués par les travaux du Mur de l'Atlantique et les explosions des bombes aériennes ou des mines.

La situation devenue dangereuse a nécessité une étude complète qui a comporté un examen géologique et géotechnique avec sondages et recherche des surfaces de glissement.

Cette étude a permis de donner une explication du mécanisme des mouvements observés et d'établir un programme des travaux de consolidation.

SUMMARY

The Sainte-Adresse cliff in the neighbourhood of Le Havre was subject in the past to repeated movements of greater or lesser scope which in 1944 have become markedly accentuated because of works on the "Atlantic Wall" and bomb and mine explosions.

The situation became dangerous and required a complete study, including geological and geotechnical surveys with borings and search of slip planes.

This study enabled us to explain the mechanism of the observed movements and to establish a program of consolidating works.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

La conférence prononcée le 22 mai 1951 ne comprenait pas un certain nombre de renseignements relevés depuis. De plus, la formation du plan de glissement du gault n'avait pas été expliquée. Il a paru préférable de recomposer cette conférence pour tenir compte de ces faits nouveaux.

EXPOSÉ DE M. BUISSON

Introduction.

C'est une assez lourde tâche de vous parler de ce qu'il est convenu d'appeler le glissement de Sainte-Adresse car en réalité on devrait parler des glissements de Sainte-Adresse. C'est dire qu'à priori il s'agit de phénomènes complexes qui ne se présentent pas de la même façon aux divers emplacements touchés, mais qui ont cependant certaines causes communes. Et tout d'abord le terme de glissement est déjà impropre en lui-même, car, je vous le montrerai tout à l'heure, les phénomènes observés ne comportent pas seulement des glissements. Lorsque j'emploierai le mot de glissement, il faut donc l'entendre avec un sens étendu.

Historique.

Depuis que la falaise du Havre existe, des glissements se sont produits. Tout au moins, nous en retrouvons trace dans les Annales de la Ville du Havre, et dans un ouvrage qui a été rédigé par un certain M. LENNIER qui était conservateur du Musée d'Histoire Naturelle au Havre vers 1870. M. LENNIER, sans avoir de grandes connaissances au point de vue géotechnique, et spécialement de la définition des sols, ce qui est bien naturel, a consigné dans un livre des observations très pertinentes. Elles l'ont conduit à des conclusions qui, si elles ne sont pas absolument conformes à celles que je vais vous exposer, sont tout de même extrêmement intéressantes.

M. LENNIER a assisté lui-même à des glissements très importants qui se sont produits à Sainte-Adresse, vers les années 1860 à 1880. Il en fait une description saisissante et quelque peu romantique et décrit des observations que nous sommes incapables de faire à l'heure actuelle, parce que le faciès du sol a complètement changé; notamment il a vu, ce que nous ne voyons plus, des soulèvements de la plage; tous ces rochers, tous ces galets qui provenaient d'écroulements de la falaise, tout cela a disparu à peu de chose près avec le temps, mais il n'en reste pas moins qu'à certains moments les glissements se sont faits à Sainte-Adresse avec un refoulement important, ce qui évoque la possibilité de glissements théoriques circulaires qui, comme vous le savez, entraînent un soulèvement du sol dans le bas de la course du glissement.

La très grosse différence entre les observations de M. LENNIER et celles que nous avons pu faire, semble être justement que dans ces derniers éboulements il n'y a pas eu soulèvement de sol. On constate, en bas des glissements, des zones dans lesquelles le corps en mouvement se déplace par translation, sans accuser de rotation. Cependant, l'aspect du sol après glissement dans la zone supérieure nous a trompés pendant longtemps. Les glissements que M. LENNIER mentionne ont eu lieu aux dates suivantes : le 11 janvier 1830, le 4 décembre 1841,

le 17 septembre 1842, le 14 juin 1860, le 30 juin 1866, le 18 février 1881. Depuis, vers les années 1900, Sainte-Adresse a été transformé en une plage de famille. On a beaucoup construit sur les pentes parce que évidemment la colline était à peu près stabilisée. Pour obtenir cette stabilisation on avait créé des épis et une digue qui ont protégé le pied de la falaise des assauts de la mer. Dès lors, les phénomènes, sans disparaître tout à fait, ont eu beaucoup moins d'ampleur; ils se sont répétés à un rythme beaucoup plus lent. C'est ainsi qu'un mouvement mineur s'est produit aux environs de 1926, et un autre vers 1938-1939. Il faut arriver jusqu'en 1944 pour retrouver les glissements importants qui sont à l'origine de l'étude que j'ai été amené à faire à Sainte-Adresse.

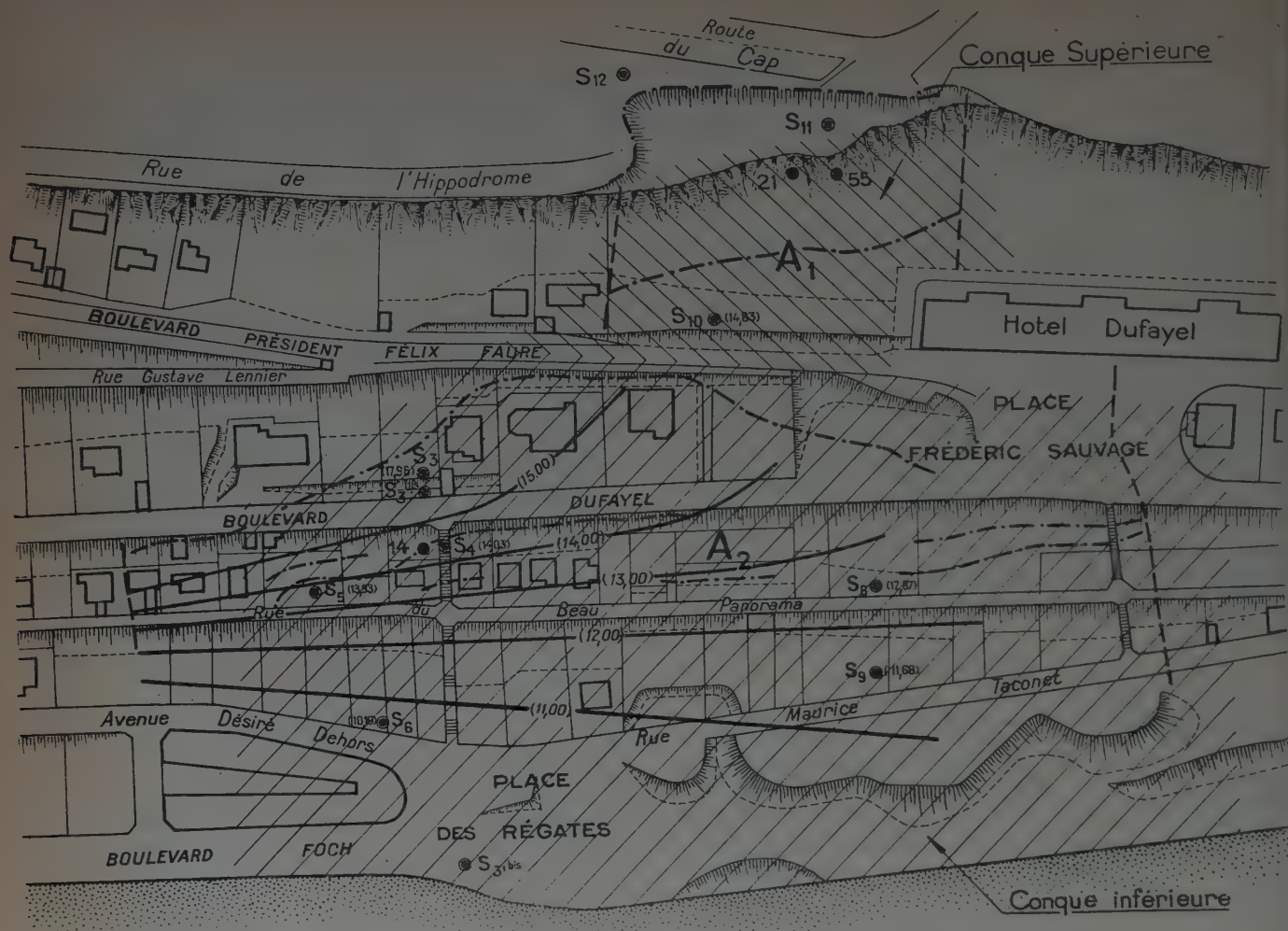
Pendant l'occupation, ai-je besoin de vous le rappeler, les Allemands avaient commis cette folie du Mur de l'Atlantique. Ils avaient placé des blockhaus sur le haut de la falaise de Sainte-Adresse, ce qui était particulièrement indiqué étant donné que tout le monde savait que cette falaise était instable, et qu'un jour ou l'autre les blockhaus seraient voués à la destruction, en dehors même des bombardements.

Notamment le blockhaus construit au haut de la falaise pesait environ 3 000 t. D'autres blockhaus étaient placés en-dessous, tout à fait à proximité de la plage. Puis, la Libération est venue avec les bombardements, avec les mines qui ont sauté. Des mouvements importants se sont alors produits en diverses zones. Jusqu'à présent nous n'avons pu savoir avec certitude si les phénomènes majeurs ont été simultanés ou successifs.

Observation des mouvements récents.

Sainte-Adresse s'étage sur les éboulis des glissements antérieurs depuis la mer jusqu'à la falaise qui a environ 90 m de hauteur. Le glissement qui s'est d'abord produit en 1944 semble être le glissement supérieur.

Il existe en ce moment trois zones en mouvement à Sainte-Adresse (fig. 1); une zone supérieure de glissement A₁, une zone inférieure, sensiblement dans le prolongement de celle-ci, A₂, et complètement séparée des deux premières, la zone B, juste à la limite de Sainte-Adresse et du Havre. Au moment où le premier glissement s'est produit, le sol s'est affaissé de 6 m vers la rue de l'Hippodrome au sommet de la falaise. Simultanément en bordure de l'avenue Félix-Faure, le sol a recouvert l'avenue de 3 à 4 m. Les figures 2 et 2 bis montrent les limites du glissement dans la zone A₁ (fig. 2), après dégagement de l'avenue Félix-Faure. On remarquera que le glissement supérieur est prolongé dans la zone inférieure. La bordure de l'avenue Félix-Faure marque en effet un crochet très accusé sur la photo (fig. 2 bis). Le déplacement horizontal y est encore supérieur à 1 m et il s'agit, comme on le voit, d'un déplacement purement horizontal.



Carte hypsométrique de la nappe.

FIG. 1. — Plan des zones A₁ et A₂.



FIG. 2. — Vue d'ensemble prise de la place Frédéric-Sauvage de la zone A₁ stabilisée au cours de l'hiver 1949-1950.

A droite et à gauche de la photographie, on peut voir les pals en charpente de protection qui donnent sensiblement la limite de la zone de glissement.

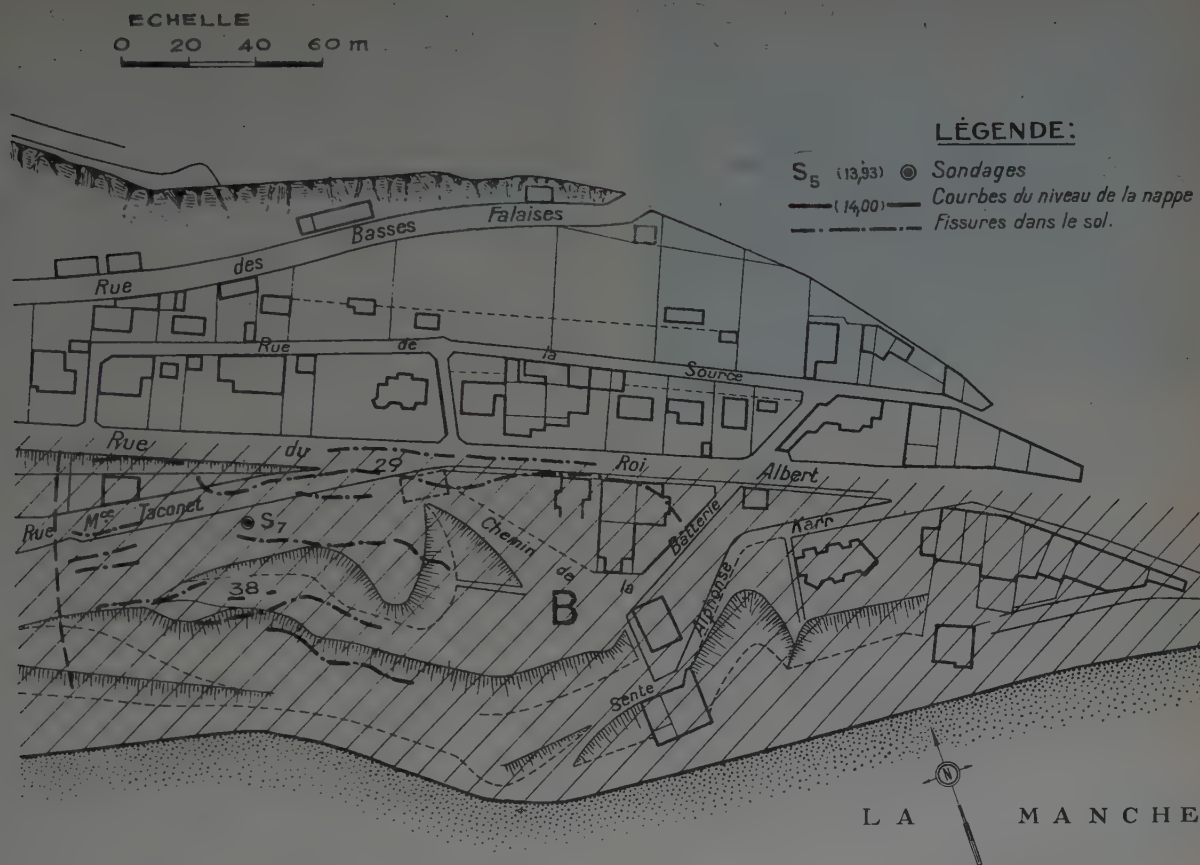


FIG. 1 bis. — Plan de la zone B.



FIG. 2 bis. — Vue du boulevard Félix-Faure en direction de la place Frédéric-Sauvage.

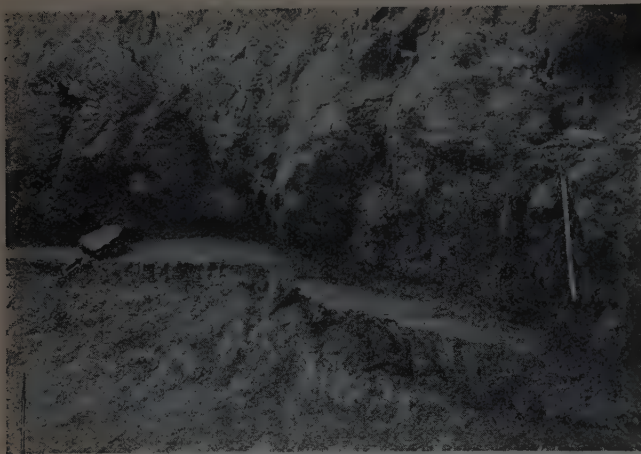


FIG. 3. — Couche de glissement à l'entrée de la galerie bétonnée. Sur l'échantillon plan gauche on voit les stries du glissement.

Le glissement intéresse donc une zone de la pente, plus basse que la route, alors que, nous le verrons, le plan de glissement visible se trouve juste au-dessus de celle-ci. La route descend vers la place, en face du grand immeuble Dufayel, et une couche miroir se trouve justement un peu au-dessus du coude, visible (fig. 3) dans le bas de la route. La figure 4 montre l'affaissement qui s'est produit à la partie supérieure du glissement. La route (que l'on devine entre trois poteaux télégraphiques et la maison blanche) s'est trouvée coupée et est descendue à un niveau quelque peu supérieur à celui de la plate-forme, visible à gauche de la photographie (cette plate-forme a été aménagée à la suite de travaux de terrassements en novembre-décembre 1949 pour stabiliser cette zone). La forme de la conque de glissement est nettement visible, et la fissure supérieure suit le bord de cette conque. Puis, ce glissement s'est compliqué. Différentes périodes se sont succédé au cours desquelles le glissement, sans s'arrêter, dimi-



FIG. 4. — Partie supérieure du glissement. Jonction de l'avenue de l'Hippodrome et de la route du Cap.

Cette photographie montre :

- 1° L'effondrement de la rue de l'Hippodrome;
- 2° Le départ de la conque de glissement.

nuait néanmoins d'intensité, puis repartait de plus belle. Les figures 5 et 5 bis montrent en ce qui concerne un point des glissements A_1 et A_2 les déplacements horizontaux et verticaux.

C'est ainsi qu'au début de 1948, quand on m'a appelé sur cette affaire, le mouvement avait plutôt tendance à se calmer; puis fin 1949 il s'est réveillé et, devant une situation très dangereuse, l'Ingénieur des Ponts et Chaussées chargé de cette surveillance et des travaux de cette zone, M. HUET, a demandé fort judicieusement et obtenu de procéder à des travaux de stabilisation du glissement supérieur.

Le glissement de la deuxième zone A_2 inférieure s'est également produit sensiblement à la même époque. La troisième zone B, qui n'est pas à proprement de glissement, mais plutôt de bouleversement, se produisit dans la partie Est. Les deux derniers glissements se poursuivent encore en ce moment.

Vous constaterez sur la figure 1 que tout au long des pentes se trouvent des fissures importantes que l'on voit très bien à la surface du sol. Les glissements affectent en gros l'allure d'une conque limitée latéralement et dont le mouvement se dirige nettement vers la mer. A la partie basse les fissures sont moins nombreuses, mais n'en sont pas moins caractéristiques. Elles s'incurvent symétriquement. Au delà le sol est stable, tandis que la zone comprise entre les crochets de la courbe est en mouvement.

Il est anormal que des fissures se produisent en aussi grand nombre sur une pente. En effet, vous savez que dans une pente on peut distinguer en gros deux zones. Les glissements sont en général précédés par la formation de fissures à la partie supérieure de la pente. Si des fissures se forment à cette partie supérieure, c'est évidemment que le sol est en tension. Par contre la zone inférieure est comprimée. Par conséquent les fissures qui se forment dans le sol, suivant ce schéma classique, devraient correspondre à toute une série de glissements qui seraient limités par ces fissures, car dans les glissements classiques, les fissures supérieures sont en général rapprochées les unes des autres. Entre les deux premières fissures on devrait constater un glissement, puis un autre glissement entre la deuxième fissure et la troisième, etc.

Ce n'est pas le cas. Deux glissements existent seulement, l'un limité sensiblement par la place Frédéric-Sauvage et le boulevard Félix-Faure, et l'autre qui est limité par la rue Maurice-Taconnet. On constate par exemple plusieurs fissures à cheval sur le premier glissement A_1 et sur le glissement A_2 , notamment vers la partie basse du glissement A_1 . Ces fissures existent par conséquent dans des zones où elles n'ont que faire en ce qui concerne la théorie classique des pentes et la formation des zones de tension.

Cette particularité a immédiatement retenu mon attention. Étant donné les mouvements qui se produisaient quand je suis arrivé au Havre, j'ai demandé à M. HUET de prendre un certain nombre de dispositions destinées à éclaircir la situation : 1° Faire des mesures de nivellement et de déplacement horizontal de façon à connaître les trois coordonnées d'un certain nombre de points. De cette façon on pourrait être averti de l'accélération ou du ralentissement du mouvement des diverses zones. Il était important en effet d'être prévenu éventuellement d'un danger grave couru par les habitants de Sainte-Adresse. Des observations systématiques des constructions devaient être faites en ce qui concerne l'apparition et le développement des fissures dans le sol et dans les constructions; 2° Procéder à une étude géologique et

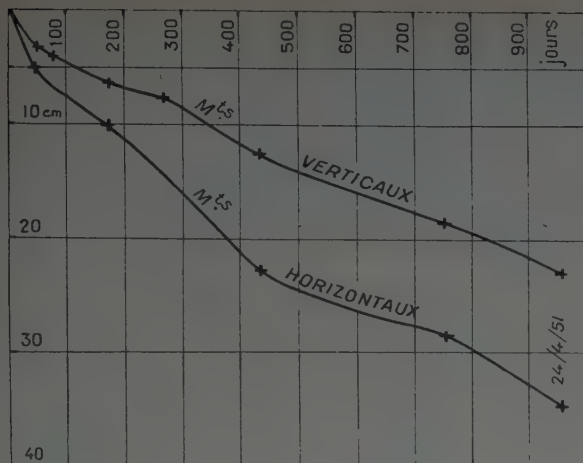


FIG. 5. — Déplacements.

LÉGENDE:

Argile rouge à silex	A. Quaternaire
Craie supérieure à silex noirs	B. Cénomanien
Craie inférieure sans silex sans glauconies	
Craies inférieures sans silex mais glauconieuse	C. Gault
Gaize et argile noir (Gault)	D. Albien et Aptien
Sables roux ou sable à glauconies	
Argile sableuse noire sans glauconies	E. Barrémien
Sable blanc ou jaune	- et néocomien
Sables fins verts à glauconies	
Marne et calcaire marneux	F. Kimmeridgien
Sable blanc grossier	
Marne inférieure	

Schéma du regard

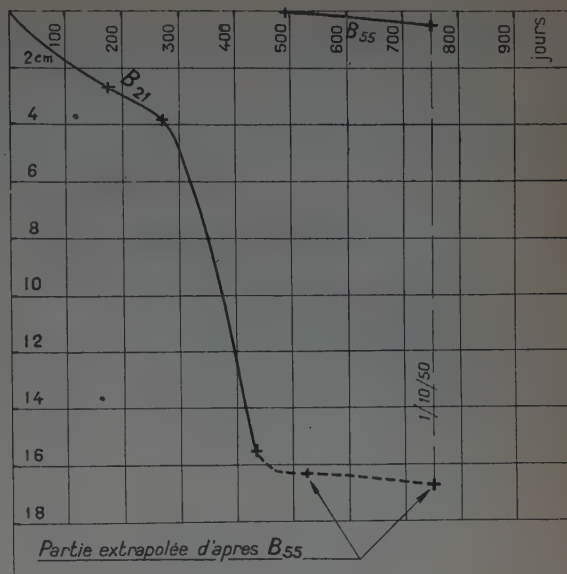
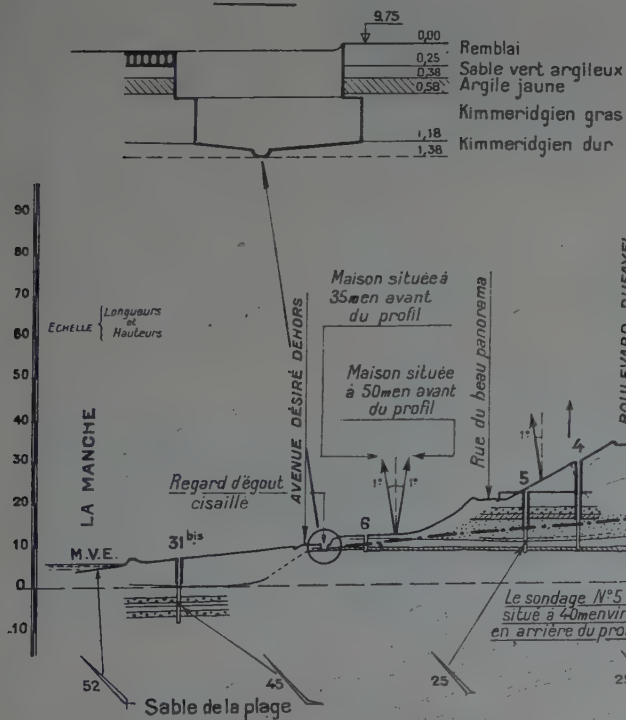
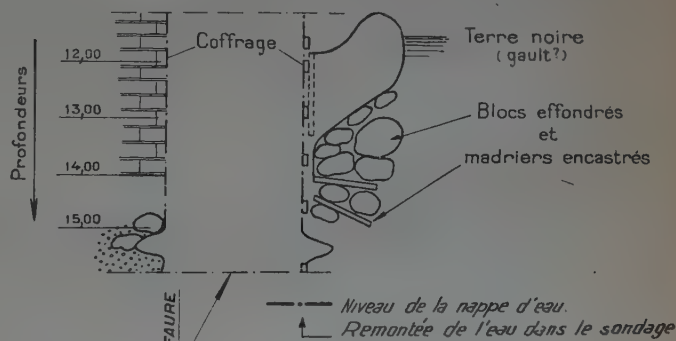


FIG. 5 bis.
Déplacements.

Schéma de la cavité observée
le 27.5.49 dans le puits N°3

FIG. 6.
Coupe géologique.



Niveau de la nappe d'eau.
Remontée de l'eau dans le sondage

hydraulique, de façon à se rendre compte à priori des possibilités de glissement; 3° Faire des sondages de façon à reconnaître les couches, les nappes d'eau et prélever des échantillons permettant d'en déterminer les caractéristiques au laboratoire. Tout cela avait pour but de déceler les causes des mouvements, et, si possible, d'en déduire les remèdes à apporter à cette situation catastrophique.

Géologie de la falaise.

L'étude géologique (fig. 6) a été rapidement faite par M. ARCHAMBAULT, Géologue, Directeur du *Bureau d'études de géologie appliquée et d'hydrologie* (Burgéap). M. ARCHAMBAULT nous a confirmé ce qui est classique dans cette région, c'est que le terrain se compose des couches superposées suivantes : à partir du haut et sous la terre végétale, le cénomanien. La première zone de quelques mètres d'épaisseur est constituée par des argiles à silex; c'est le résultat de la décarbonatation des calcaires argileux et ferrugineux. Les calcaires qui se trouvent en dessous sont des calcaires à silex d'une épaisseur très importante, de l'ordre de 25 m. Ces calcaires à silex contiennent déjà des glauconies; ensuite on trouve une zone de calcaire sans glauconies, et puis, au contraire, des calcaires très glauconieux qui sont en réalité des marnes (gaize) et constituent la base du cénomanien. L'albien sous-jacent se trouve représenté par des marnes glauconieuses et par le gault. Le gault est une argile à peu près pure (qui ne contient presque pas de calcaire). En dessous de cette couche, existent les sables de l'aptien qui comportent une petite couche argileuse mais très dure. Les sondages ont révélé cette couche à la cote 30 environ. Ensuite on rencontre le néocomien qui comporte des sables plus ou moins argileux et plus ou moins grossiers. Certains horizons comportent des parties fines, notamment des sables verts très fins et glauconieux.

Enfin, vient le kimméridgien constitué par des marnes dont la teneur en calcaire et la consistance varient beaucoup suivant les emplacements. En réalité, il comporte des couches plus ou moins dures et même des calcaires, mais la surprise apportée par les sondages et ce à quoi on ne s'attendait pas, c'est qu'on a trouvé une poche importante de sable d'une dizaine de mètres d'épaisseur sous la falaise, et ceci peut expliquer bien des choses. Il est certain que si une telle poche existe au voisinage de la mer et à son niveau (ce qui est le cas) l'aller et retour du flux et du reflux provoque tôt ou tard une érosion complète et par la suite des affaissements importants par écroulement des cavernes. Dans un tel cas la falaise

entière peut s'écrouler et c'est ce qui s'est vraisemblablement déjà produit.

La consistance du kimméridgien varie beaucoup. Les affleurements de la plage ont gonflé et ont été rendus plastiques par l'absorption de l'eau de mer.

Examen géotechnique.

Je voudrais maintenant vous donner les caractéristiques les plus importantes de ces terrains. Ce qu'il

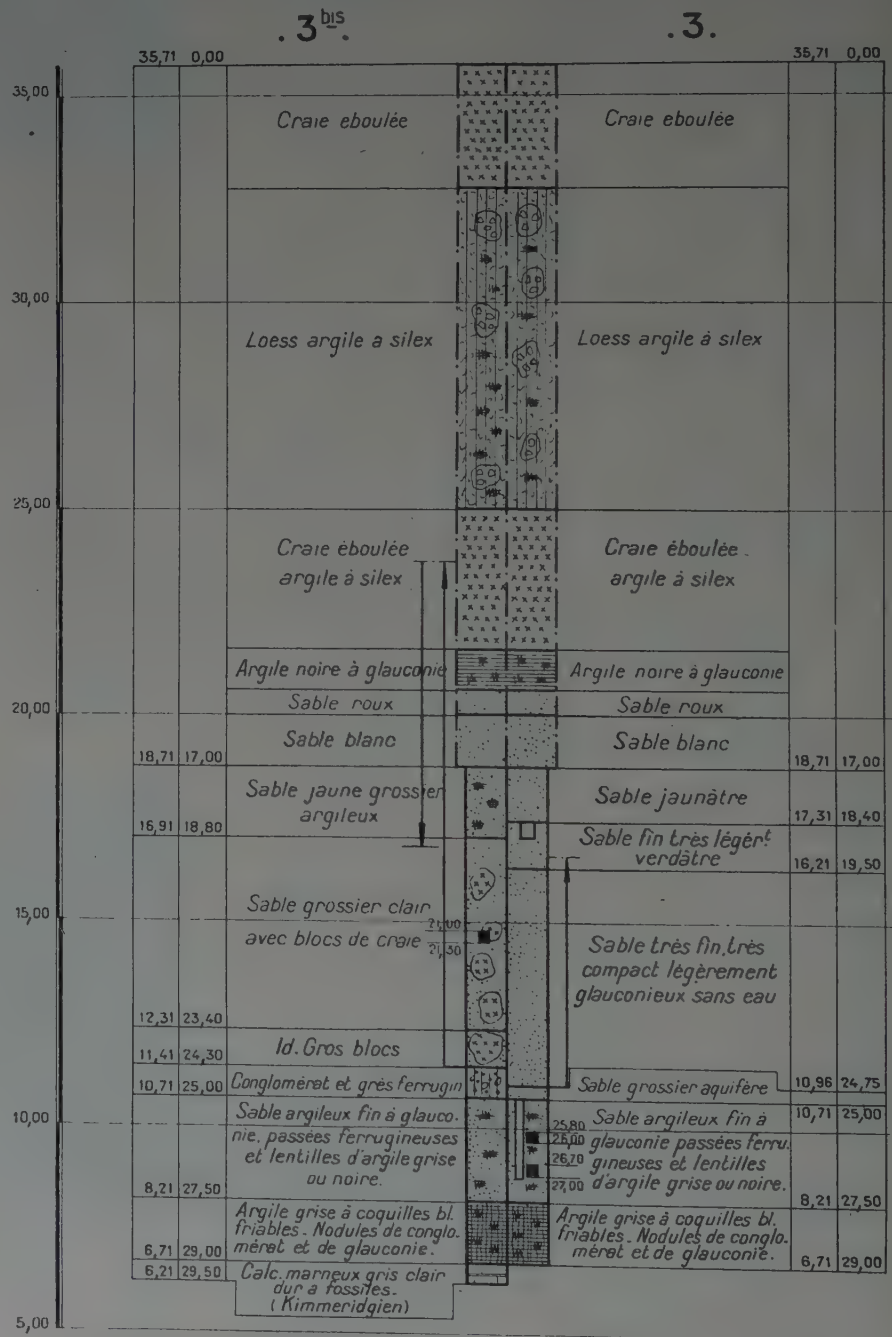


FIG. 7. — Coupe

faut retenir dans toute recherche de glissement, c'est la position et les caractéristiques des couches argileuses. Nous savons qu'il existe une zone argileuse dans le gault et une autre zone argileuse à la partie supérieure du kimmeridgien. Les deux couches se présentent dans un état voisin de leur limite de plasticité. D'ores et déjà, ces deux points établis permettaient de supposer dès le début de l'étude que les glissements devaient être favorisés par la présence de ces deux couches. C'est là qu'il fallait chercher les couches « miroir »

Coupe des sondages.

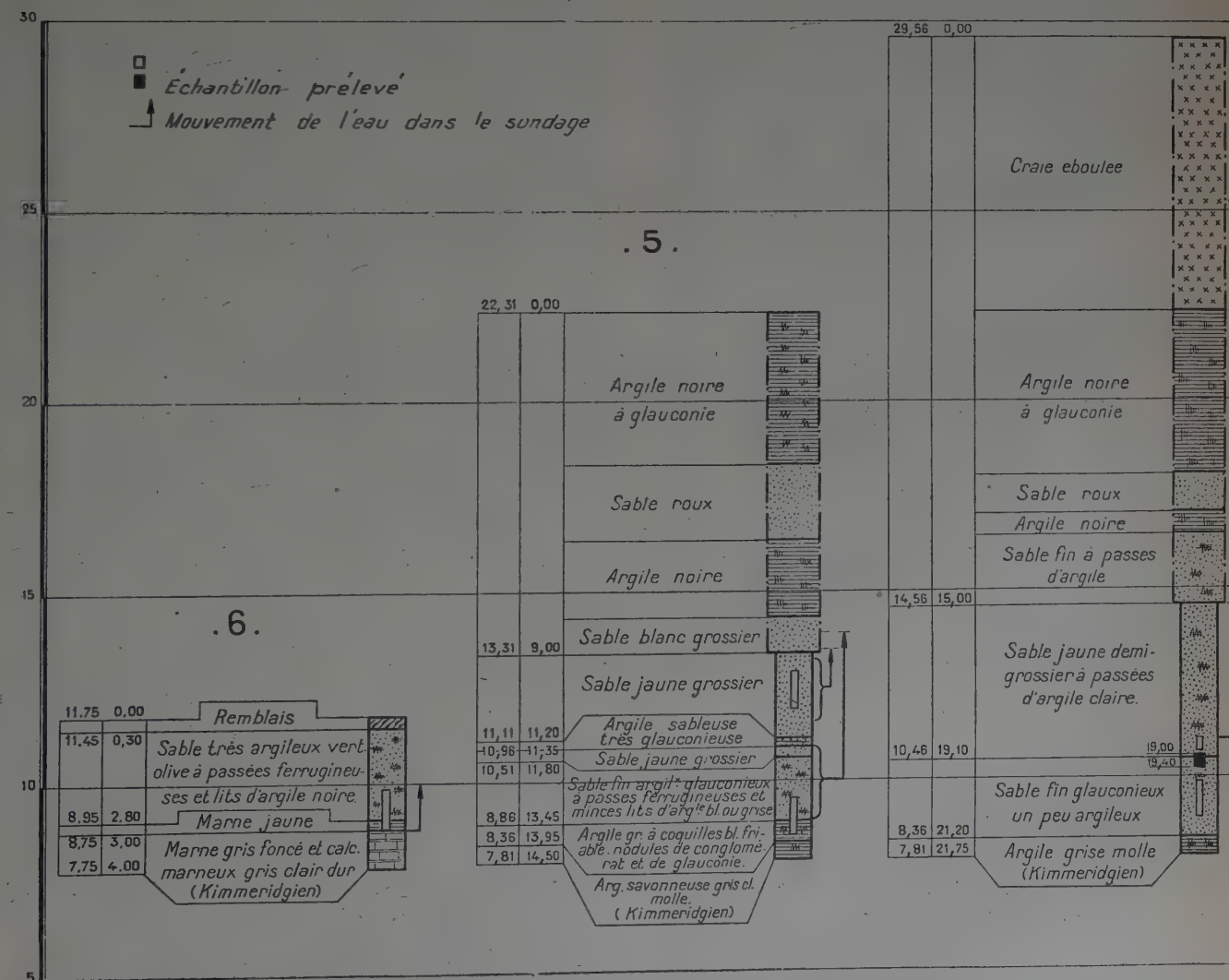
Les premiers sondages qui ont été effectués en dessous de la place Frédéric-Sauvage ou de l'avenue Félix-Faure, ont montré, dans la plupart des cas, des terrains complètement remaniés dans les zones supérieures. Ils proviennent évidemment des éboulis qui se sont produits au cours

des siècles. Aussi doit-on s'attendre à ce que, sur une certaine épaisseur, existe en quelque sorte un manteau de couches qui se succèdent dans un ordre fantaisiste. En dessous se trouve le terrain en place (fig. 7).

Le dernier sondage qui a été exécuté à l'intérieur même de la falaise, en dehors de la zone de glissement, a montré des couches bien en place.

Naturellement, l'épaisseur de terrain en place au-dessus du niveau de la mer diminue au fur et à mesure que l'on s'en approche (fig. 6). Un fait important a été établi par l'examen des sondages : les sables du néocomien qui se trouvent comme je vous l'ai rappelé en dessous de l'aptien, diminuent d'épaisseur d'une façon considérable, et si on retrouve à l'état intact cette couche argileuse noire qui est à la limite de l'aptien et du néocomien dans la zone inférieure, par exemple aux sondages 4 et 5, on peut constater : 1° que son niveau est nettement inférieur; 2° que l'épaisseur du néocomien n'est plus que de 5 m environ, tandis que dans la falaise

. 4 .



des sondages.

intacte il est de l'ordre de 20 m. Il est donc inconteste qu'au cours des âges le néocomien a disparu.

Comment a-t-il disparu ?

Étant donné la présence d'eau, à l'intérieur de la falaise, dans ces sables du néocomien et des sources à sa base, il est assez naturel de penser que ces sables ont été entraînés progressivement par l'eau.

Toutefois l'étude a été compliquée par le fait qu'aucun cône de déjection n'est visible en bas des sources. Ultérieurement, l'examen des sables de plage par le laboratoire de M. BOURCART a montré que ceux-ci étaient constitués en grande partie par des sables du néocomien, qui ont des caractéristiques parfaitement définies en ce qui concerne la présence de minéraux lourds. La figure 6 montre la comparaison de deux sables prélevés, l'un dans la falaise (échantillons 13 et 14), l'autre sur la plage (échantillons 45 et 52) ⁽¹⁾. Il est donc certain que cette couche se vide progressivement. Enfin l'examen de l'égout de la rue Maurice-Taconnet montre qu'un entraînement de sable se produit puisqu'on y constate un dépôt sableux; cet égout collecte surtout les eaux de source du bas de

la falaise. Il est donc bien établi que les sables du néocomien sont entraînés par érosion.

Nous avions commencé par faire des puits avant de faire les sondages. En effet, nous pensions à ce moment-là que les puits nous permettraient de mieux matérialiser les plans de glissement. Ces puits ont été descendus dans la zone supérieure jusqu'au gault et, dans la partie inférieure de la falaise, sur le kimméridgien. Cependant on n'a pas vu de plan de glissement dans ces puits, notamment dans le gault.

On a fait ensuite des sondages pour avoir une meilleure connaissance des plans de glissement possibles, et parce que les puits étant envahis par l'eau, les épuisements étaient très coûteux. De plus, les blindages étaient soumis à de fortes poussées et notamment dans les éboulis des zones inférieures de la falaise. Les sondages nous permirent d'identifier complètement les différentes couches de sol et de mettre en évidence le régime des eaux.

Le tableau ci-dessous résume les propriétés des sols rencontrés. On constate que les caractéristiques des couches argileuses du gault et du kimméridgien sont voisines, et que les échantillons de sable du néocomien ont une faible densité les rendant très instables.

REPÈRE du sondage	PRO- FONDEUR	COTE	TENEUR en eau en % sol sec <i>e_s</i>	DENSITÉ appa- rente <i>d_a</i>	POIDS spéci- fique <i>δ</i>	LIMITE de liquidité LL	LIMITE de plasticité LP	CaCO ₃	RÉSIS- TANCE à la com- pression <i>R_c</i> kg/cm ²	ANGLE de frotte- ment	
S 12 Gaize et Gault.	44,2	44,8	19,6	2,04	2,61	38	20,7	10,7	2,2		
	48,4	40,6	43,2	1,76	2,56	61,6	29,7	14,8	0,53		
	49,6	39,4	10,9	2,30	2,67			47,0	232		
	50,5	38,3	35,0	1,80	2,60	56,4	30,8		1,10		
	54,6	34,3	34,3	1,87	2,76	38,1	16,8	1,75	0,05		
S 12 Kimméridgien.	82,3	6,5	24,9	2,08	2,83	85,0	22,0	11,3	8,00		
	83,4	5,3	11,0	2,25	2,81			55,0	144		
	84,1	4,5	19,0	2,16	2,69	1,83	20,8	41,6	12,0		
	85,4	3,2	18,0	2,17	2,77	52,0	20,8	36,6	17,7		
	86,0	2,5	20,4	2,17	2,74	52,0	21,8	21,5	18,7		
	99,7	11,2	23,9	1,87	2,73	66,3	22,3	20,4	54,0		
S 1 bis			35,8	1,87	2,71	65,4	24,2	27,0	0,80		
Puits rue Désiré-Dehors, rue M.-Taconnet, Kimméridgien.			47,2 29,2	1,74 1,86	2,68 2,71	90,0 53,0	33,0 21,2	11,4 10,5	0,38 0,38	15° 7° à 25°	7° pour 35 % d'eau 15° pour 30 % d'eau 25° pour 25 % d'eau
Plage Gault éboulé.			23,6 25,1 28,4	2,04 2,00 1,92	2,73 2,72 2,66	40,0 41,5 56,6	21,4 22,0 24,5	31,8 21,2 21,4	1,20 1,39 1,35	20° à 27°	
Sondage S 1 Sable roux éboulé.	19,2		16,6	1,96	2,87	31,4	15,8	0	0,244	33° à 36°	
Sondage 3 C Sable blanc.	19,0		23,6	1,84	2,73	43,5	26,0	1 %	0,10	28° à 36°	
Sondage 3 F Néocomien.	17,0	18,7	16,4	2,01	2,63	14,5	20,0	0,45	0,05		
Plan de glissement Gault 9 m de l'entrée de la galerie.			28,5	2,00	2,80	58,8	34,7	13,7	3,40	10° à 15°	Plan de glissement.
Gault 32 m de l'entrée de la galerie.			29,0	2,00	2,79	50,8	34,7	13,7		15° à 20°	Interne.
Galerie Mac Léod.			16,6	1,29	2,79	35,3	26,2	0,3		26° à 37°	
Plan de glissement à l'aplomb du mur de soutènement.			25,6							11°	<i>c</i> = 378 g.

⁽¹⁾ La figure 6 montre quelques diagrammes caractéristiques de sables prélevés dans les sondages et sur la plage. Leur analogie est frappante. Pour construire ces diagrammes on porte sur les axes des coordonnées et sur les bissectrices des segments proportionnels au pourcentage de chacun des minéraux représentés par chacune des directions. Mais ces sables contiennent surtout de la tourmaline (axe à 45°) et un peu de zircon (axe vertical vers le haut), de lépidote (vers le bas), du rutile et de l'andalousite.

Étude des nappes d'eau.

L'étude des niveaux d'eau a été faite au moyen des sondages. Dans la plupart de ces sondages on a constaté que le niveau d'eau montait lorsqu'on arrivait à une certaine profondeur. On avait donc percé une couche imperméable et l'eau qui se trouvait sous cette couche imperméable était à un niveau piézométrique plus élevé.

Dans un sondage tel que le n° 3, on a même constaté une élévation tout à fait anormale de l'eau dans le sondage et une descente progressive par la suite. Le niveau se stabilisait sensiblement au même niveau que dans un sondage qui avait été fait à côté. Pourquoi ces deux sondages ont-ils été exécutés à côté l'un de l'autre ? C'est que, lorsqu'on a constaté cette remontée très importante d'eau dans le premier, on s'est dit que le sondeur avait certainement laissé passer une couche argileuse. Or, il était très important de constater la présence de cette couche argileuse. Il fallut donc refaire un sondage à côté pour matérialiser cette couche argileuse.

Contre toute attente, on n'a abouti à aucun résultat, à ce point de vue. Ces sondages ont montré qu'il existe des poches d'eau suspendues localement dans les éboulis, et donnant lieu, par conséquent, à des poussées anormales.

L'étude de ces sondages et des niveaux d'eau montre que, d'une façon générale, la nappe s'élève progressivement dans le néocomien au fur et à mesure que l'on se déplace à l'intérieur de la falaise. Au-dessus du gault on a, bien entendu, essayé de voir également si l'on découvrirait une nappe car des sources apparaissent sur la pente à ce niveau.

Les sondages n'en ont pas montré. Il est certain que les sondages ont été exécutés dans une période sèche. Pendant plusieurs années il n'avait presque pas plu, de sorte que les sources qui abondaient dans ces pentes n'avaient pour ainsi dire pas de débit à l'époque de cette reconnaissance. Dans ces pentes de Sainte-Adresse où l'on trouve beaucoup de sources qui sont réparties le long du front de mer au voisinage du kimméridgien et du gault, ces sources sont extrêmement fantaisistes. Tantôt elles coulent, tantôt elles s'arrêtent et vont se former un peu plus loin. Ces changements sont révélateurs. Il est naturel que dans ces zones sableuses, l'eau trouve son chemin pour émerger; des cavités se forment par érosion régressive et ces cavités peuvent se combler, soit sous l'influence de l'élévation du plan d'eau qui annule la pression capillaire qui maintient les parois des cavités, soit simplement sous l'influence de vibrations, car ces sables argileux sont assez instables du fait de leur faible densité. Ce fait a été montré nettement au laboratoire. Les vibrations dues aux explosions des bombes ont certainement provoqué de tels éboulements, les explosions nécessaires pour démolir les abris allemands ont continué ces effets destructeurs. L'eau s'accumule alors derrière l'éboulement et trouve un débouché un peu plus loin. Ces vibrations ont certainement modifié et modifient encore profondément le régime des eaux dans la falaise, et cela explique les poches d'eau suspendues localement dans les éboulis, qui provoquent évidemment des poussées anormales. Que le cheminement des eaux produise des cavernes, cela est hors de doute. Il en a été justement constaté une petite au sondage n° 3, et d'autre part il ne serait pas possible de justifier les glissements récents si ces cavernes n'existaient pas.

Nous verrons plus loin qu'il est possible également d'expliquer la formation de cavernes dans la falaise supérieure calcaire.

Enfin, nous avons déjà dit que l'analyse minéralogique effectuée au laboratoire de M. BOURCART montre nettement que les sables de plage ont une analogie qui n'est pas l'effet du hasard avec les sables du néocomien, en ce qui concerne la présence des minéraux lourds. Ce fait, à lui seul, montre bien l'entraînement par l'eau des sables du néocomien. Nous en avons déjà donné d'autres raisons (fig. 6).

Surfaces de glissement.

Zones inférieures.

En ce qui concerne la zone inférieure de glissement, des observations purent être faites dans le bas de la pente sur le kimméridgien lui-même, dans la rue Maurice-Taconnet. Dans cette rue en effet existait un égout. Cet égout s'est trouvé absolument aplati par la poussée (fig. 6). Comme la fouille était ouverte, nous avons constaté que la moitié inférieure de l'égout était dans le kimméridgien et que sa moitié supérieure était dans les sables verts du néocomien. La fouille est restée ouverte avec son blindage et l'on a constaté progressivement le déplacement du terrain supérieur par rapport au kimméridgien. Nous étions donc bien certains qu'il y avait là une couche de glissement, une couche « savon ». Ce fait a été également matérialisé par des tubes flexibles placés dans certains sondages par la Société Solétanche dans la zone B.

Il est facile de procéder à des mesures de déformations latérales de tels tubes flexibles. La surface de glissement se manifeste par un changement important des déplacements à son voisinage. Je n'entrerai pas dans les détails de la technique des mesures, ce qui dépasserait le cadre de cette conférence.

La figure 6 montre nettement la surface de glissement dans le regard voisin du sondage n° 6. Celle-ci coïncide avec le kimméridgien.

Dans un autre sondage, le sondage n° 7 (fig. 8), qui est plus élevé, on a constaté une déformation avec maximum sur une partie de gault éboulé. Le gault se retrouve en paquet, et c'est évidemment au voisinage de cette zone argileuse qu'on trouve la déformation maximum. Il est naturel que, dans un terrain d'éboulis constitué par des lentilles de sol dont la composition varie très rapidement d'un point à l'autre, aucun mouvement régulier ne puisse être mis en évidence. Le sol est, en effet, essentiellement hétérogène dans la zone d'éboulis.

Zone supérieure.

En ce qui concerne la zone supérieure, on a déblayé en 1949 l'énorme tas de décombres et le mur de soutènement rompu qui se trouvait derrière l'immeuble Dufayel. Lorsqu'on a fait le déblaiement, je me trouvais au Havre. A ce moment le plan de glissement m'est apparu sans difficulté sur la coupe du terrain, un peu au-dessus du niveau de l'avenue Félix-Faure. Nous avons pu dégager une superbe couche miroir qui est photographiée figure 3.

Il est curieux de constater que cette couche miroir se trouve, non pas dans une zone purement argileuse,

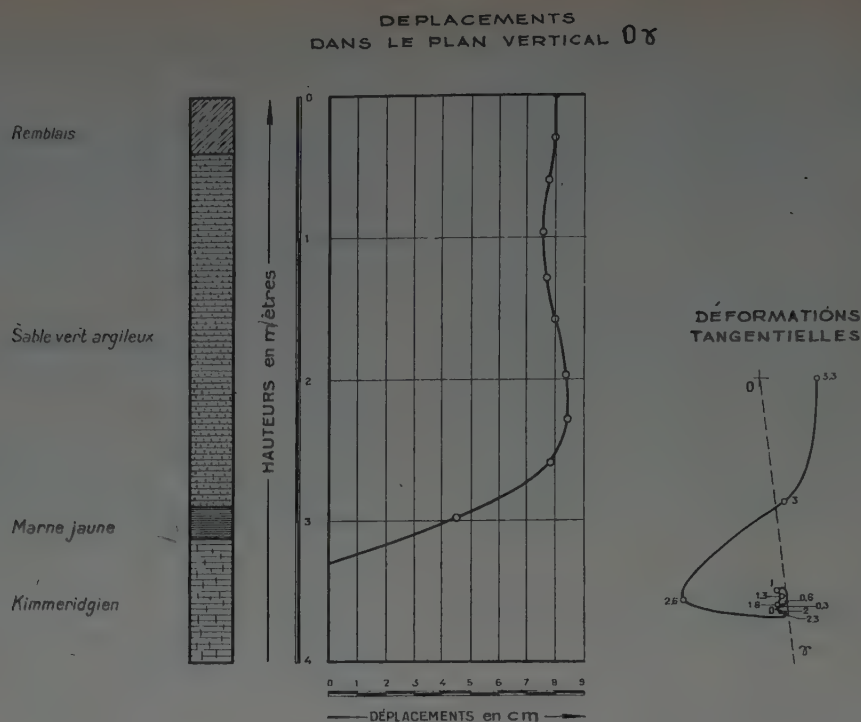


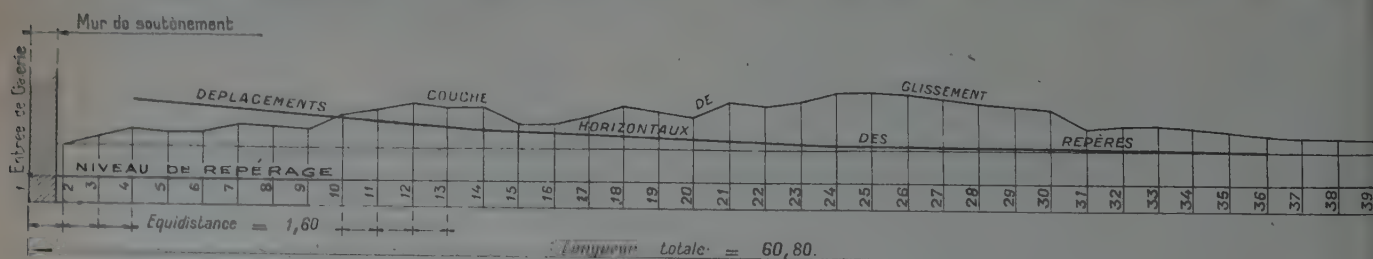
FIG. 8. — Relevé d'un tube de déformation dans le sondage 7.

mais dans une zone où, au contraire, on trouve des blocs de marne tout de suite au-dessus et ces blocs sont séparés les uns des autres par des fissures sensiblement verticales qui ont été mises en évidence par une galerie de drainage enfoncée sous la falaise. Ayant constaté l'existence du plan de glissement, nous avons pu le suivre. De cette façon, nous nous attendions à constater une surface courbe classique quoique son existence dans le calcaire du cénomanien était problématique. Des ordres devaient être donnés pour modifier la pente de la galerie au fur et à mesure que la surface se serait incurvée vers le haut, mais la surface miroir resta sensiblement plane sur toute la longueur de la galerie, soit sur 60 m. En réalité on observe des ondulations mais elles n'ont que 20 à 30 cm de hauteur, ce qui semblerait montrer les gonflements provoqués par la formation des voûtes dans le sol. Il me paraît difficile d'expliquer autrement

le sens de ces mouvements. En effet, le maximum (27 cm) se produit à une quarantaine de mètres de l'ouverture de la galerie. On comprendrait la formation d'une telle vague à la partie basse de la pente comme conséquence du glissement. Mais, dans cette zone, la couche de glissement s'incline doucement, au contraire, vers l'ouverture. Le niveau de la surface miroir est le même à l'ouverture et à l'extrémité opposée de la galerie. Un simple gonflement par déchargement de la couche sous-jacente, du fait de la formation de voûtes, peut donc expliquer cette ondulation, ce qui serait encore une confirmation de l'hypothèse précédente.

Il n'y avait plus aucune probabilité de reconstituer la couche de glissement circulaire qui avait été imaginée par application du processus classique.

A la même époque, M. HUET faisait également cons-



L'ÉCHELLE DES HAUTEURS EST ÉGALE A 10 FOIS CELLE DES LONGUEURS
ÉCHELLE DES DÉPLACEMENTS HORIZONTAUX DES REPÈRES : 3 mm = 10 mm

FIG. 9. — Galerie de recherche,

truire le tunnel routier du Havre dans lequel il avait remarqué aussi la présence d'une couche savon. Or, on constate qu'elle se trouve sensiblement à la même cote qu'à Sainte-Adresse. Il est donc très probable que cette couche savon existe sous toute la falaise de Sainte-Adresse, sur quelques kilomètres de longueur, et qu'elle est sensiblement horizontale.

Voilà un phénomène curieux et qui ne semble pas très orthodoxe. Comment ce plan a-t-il pu se former ? On est réduit aux hypothèses. Celle qui paraît le plus plausible me paraît être la suivante :

L'argile du gault est surmontée par une couche de calcaire de 50 m de hauteur qui la charge par conséquent à 10 kg/cm^2 . Sa résistance à la compression a été trouvée de $1 \text{ à } 3 \text{ kg/cm}^2$ au maximum et son angle de frottement de 20° au maximum. La cohésion a donc une valeur maximum de $c = \frac{3}{2} \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) = 1,050 \text{ kg/cm}^2$. Lorsque $R_c = 1 \text{ kg/cm}^2$, $c = 0,350 \text{ kg/cm}^2$.

Sa résistance au cisaillement est donc dans chacun des cas :

$$10 \cdot \text{tg } 20^\circ + 1,050 = 4,7 \text{ kg/cm}^2; \\ + 0,350 = 4 \text{ kg/cm}^2.$$

Si on se borne à prendre pour exacts les résultats des essais de cisaillement, en ce qui concerne la cohésion, on trouve que celle-ci n'est que de 300 g en moyenne, sur le plan de glissement. La résistance de cisaillement ne serait alors que de $3,8 \text{ kg/cm}^2$ voisine de celle trouvée avec $R_c = 1 \text{ kg/cm}^2$. Quoi qu'il en soit, si, au cours d'un tremblement de terre, l'accélération horizontale est telle que la résultante est inclinée de 32° sur la verticale, la résistance au cisaillement est vaincue. Il a suffi que l'accélération horizontale ait été de $\frac{6}{10}$ de g pour que le plan de glissement ait pu se former (g étant l'accélération de la pesanteur). De telles accélérations horizontales se sont certainement produites, au cours des âges géologiques. Le plan de glissement peut donc s'expliquer de cette façon.

Il est vrai que le calcul très sommaire précédent n'envisage pas le phénomène sous son aspect dynamique, essentiellement vibratoire, alors que les tremblements de terre ont précisément ce caractère. L'effet produit dépend avant tout de la période propre de la masse secouée par le séisme. Lorsque les deux périodes sont les mêmes, l'effet de résonance intervient et des mouvements importants peuvent se produire. On ne peut qu'épiloguer sur la probabilité d'une telle coïncidence.

Comme les caractéristiques du kimméridgien sont sensiblement comparables, il n'est pas surprenant que les deux plans de glissement se soient produits simultanément.

A l'heure actuelle, la résistance au cisaillement est certainement moindre le long du plan de glissement, du fait que les grains de sol qui étaient grossiers avant laminage sont maintenant réduits en poudre fine, et l'angle de frottement s'abaisse de ce fait. En fait, les essais de cisaillement le long du plan de glissement ont montré que la cohésion s'abaisse à 160 g et l'angle de frottement à 15° .

La résistance au cisaillement est donc réduite maintenant à $2,850 \text{ kg/cm}^2$. Le glissement est donc facilité, à l'heure actuelle, le long du plan existant. A la vérité, les caractéristiques varient beaucoup suivant l'emplacement du prélèvement. Les caractéristiques suivantes

ont aussi été obtenues $c = 240 \text{ g/cm}^2$, $\varphi = 11^\circ$ à 9 m de l'ouverture de la galerie. D'autres anomalies ont été relevées. Au cours d'essais œdométriques, on a essayé de faire apparaître la pression à laquelle le sol avait été antérieurement soumis dans le sens horizontal. On procède souvent à l'opération pour déterminer la pression verticale antérieure. A 5 m de l'ouverture de la galerie ouverte le long du plan de glissement, la pression horizontale maximum a été trouvée de 1 kg/cm^2 , tandis qu'à 41 m de l'entrée cette pression atteignait 4 kg/cm^2 . Ces constatations ne laissent pas d'être troublantes, car il est bien certain que dans les époques géologiques la zone d'affleurement de la couche de glissement devait se trouver, avant les éboulements, dans la même situation relative qu'à 40 m à l'intérieur de la falaise.

Si on compare la teneur en eau des échantillons prélevés dans la galerie, on constate qu'elle ne varie pas beaucoup sur le débouché de la galerie. On a trouvé en effet à 5 m de l'entrée 35% , à 9 m $28,5 \%$, à 32 m $29,5 \%$, à 41 m $29,6 \%$.

Deux anomalies doivent être soulignées :

1° L'échantillon prélevé à ce niveau dans le sondage n° 12 avait une teneur en eau de 35% au lieu de 29 dans la galerie. Or, il est bien certain que le pour cent d'eau de ces derniers échantillons devait être supérieur à celui du sol avant l'ouverture de la galerie.

2° Au voisinage d'un mur de soutènement qui limitait le glissement de l'immeuble Dufayel, c'est-à-dire à proximité de l'entrée de la galerie, le pour cent d'eau trouvé fut de $25,6 \%$ seulement.

Ainsi, au voisinage de l'origine de la galerie les pour cent de 25% et 35% sont trouvés en des points peu éloignés l'un de l'autre.

Comment interpréter ces faits sinon que des concentrations d'efforts agissent en certains points (notamment dans le bas du glissement), alors que la couche de glissement se trouve nettement déchargée sous la falaise. Cela ne peut qu'être dû à l'effet de voûte qui se produit dans les zones sous-cavées, tandis que des zones servant de culées se trouvent surchargées. La pression correspondant à une teneur en eau de 25% serait de l'ordre de 28 kg/cm^2 d'après les essais œdométriques.

Mécanisme des mouvements observés.

Zone A₁.

Pour parvenir à expliquer les mouvements, nous nous aiderons, à la fois, des relevés en ordonnées et en plan de quelques points de la falaise, des données des sondages effectués et de l'allure des fissurations.

Il n'y a pas de doute que si un cercle de glissement existe, ce cercle doit être tangent au plan de glissement. Le centre du glissement doit se trouver à l'intersection des trois normales aux trajectoires relevées (fig. 10). Si l'on trace ce cercle, il coupe le calcaire à silex à environ 5 m au-dessus de son niveau inférieur. Il est bien certain que la fissure de la zone supérieure descend certainement au moins à cette profondeur.

Comment ce calcaire dont la résistance est supérieure à 100 kg/cm^2 a-t-il pu se fissurer ? Comment une telle surface de glissement aurait-elle pu se former ? Dans certaines zones, la résistance du calcaire sans silex est de l'ordre de 200 kg/cm^2 . La gaize qui se trouve en des-

sous de la marne glauconieuse a une résistance sensible-ment égale. Sans doute ne faut-il pas concevoir la couche calcaire comme une masse continue. Du fait même de sa formation, et des conditions dans lesquelles elle s'est trouvée ultérieurement, elle s'est certainement fissurée, ne serait-ce que par retrait, sinon au cours de mouve-

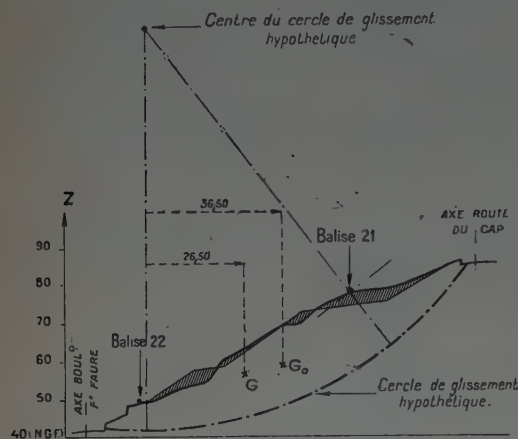


FIG. 10. — Coupe en travers de la falaise passant par la balise n° 21.

ments orogéniques. Il est donc possible et même probable que ces fissures existaient préalablement dans le calcaire avant les éboulements observés récemment. On pourrait attribuer aussi ces fissures à l'érosion du néocomien et aux affaissements qui en ont été la conséquence. Peut-être les deux phénomènes se sont-ils conjugués. Dans la dernière hypothèse, on peut en tout cas avancer que la formation du plan de glissement est postérieure à la formation des fissures, sinon son horizontalité et sa continuité ne pourraient plus être constatées. Cette continuité rend donc très improbable une érosion antérieure à la formation des fissures à l'aplomb de la galerie, car on ne peut admettre que cette érosion ait été arrêtée depuis si elle s'était produite antérieurement.

D'autre part, on a observé que l'affaissement a été de 6 m à la partie supérieure.

Si on examine le sondage n° 11, qui a été effectué un peu plus loin que la fissure, vers la pente, on constate la présence du calcaire supérieur 12 m plus bas qu'au sondage n° 12 exécuté dans le sol en place. Puisqu'on constate que le plan de glissement du gault est horizontal, cette dernière couche n'a pas subi de déplacement. L'épaisseur de la deuxième couche de calcaire sans glauconies qui était précisément de 12 m tombe donc à zéro. On ne peut supposer que cette couche ait subi une rotation, sinon le gault aurait subi lui-même une déformation que l'on ne constate pas. Il faut donc admettre que le calcaire sans glauconies et peut-être même une partie du calcaire à glauconies ont disparu, car l'épaisseur de celui-ci est sensiblement inférieure dans le sondage n° 10 situé à peu de distance de l'affleurement du plan de glissement. Il existait donc certainement une ou plusieurs cavités importantes dans ce calcaire avant le glissement. Comment ces cavités se sont-elles formées ? Est-ce par la main des hommes ? en ce sens que l'on aurait exploité le calcaire ? Cela est possible puisque de tradition la falaise de Sainte-Adresse a été exploitée pour en tirer de la pierre de construction. Dans ce cas

l'accès de ces anciennes carrières serait bien dissimulé, car on n'en retrouve pas trace à l'heure actuelle sauf à plusieurs centaines de mètres à l'ouest du glissement. Il est possible également que ce calcaire, ainsi que le calcaire glauconieux aient été délayés par l'eau d'infiltration provenant des précipitations atmosphériques. Cette eau est chargée de gaz carbonique et est particulièrement apte à dissoudre le calcaire. C'est là l'explication classique de la formation des cavernes dans les masses calcaires. Dans le cas des calcaires glauconieux, l'effet devrait être plus rapide. Vous savez que les glauconies sont constituées par un silicate de fer, de magnésie et de potasse. La silice est, comme vous le savez, un acide très faible. C'est le plus faible des acides puisqu'il est déplacé par l'acide carbonique. D'autre part, l'oxyde de fer et la magnésie, mais surtout la potasse, sont des bases relativement fortes. Par conséquent, les silicates s'hydrolysent. Or, on retrouve des alcalins dans l'eau interstitielle du gault. De plus, l'analyse de l'eau qui s'écoule dans les deux galeries (Mac LÉON et DUFAYEL) a été faite (1). La composition de la dernière est donnée ci-après : extrait sec à 105° 0,613 g/l; SiO_2 0,02 g/l; $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 0,008 g/l; CaO 0,175 g/l; MgO 0,036 g/l; alcalins exprimés en Na_2O : 0,106 g/l (le potassium a été décelé mais non dosé); chlorures (en Cl) 0,123 g/l; sulfates en SO_3 0,136 g/l; carbonates en CO_2 0,066 g/l. On voit que tous les constituants des glauconies et notamment la silice, le magnésium, le fer et le potassium sont présents. De plus, on trouve SO_3 dû certainement à la présence des pyrites noyées dans le calcaire du cénomanien et le CO_2 provenant de la dissolution de la craie. Tous ces éléments sont en faible quantité. Néanmoins, à raison de 0,6 g de matières dissoutes par litre, et en comptant, pour les deux sources 40 litres par minute, le volume d'eau est en moyenne de 20 000 m³ par an. Le poids de matière solide évacué est donc de 12 t par an au moins dans la zone de glissement supérieure. Au cours des siècles, il n'est donc pas surprenant que de véritables cavernes aient pu se former par ce processus. Il est probable que chaque groupe de deux fissures successives situées dans le haut d'une zone de glissement correspond donc aux deux surfaces limitant chacune des zones d'effondrement. Sur la paroi aval, s'exerce dès lors une poussée importante, susceptible de mettre en mouvement la masse de sol de la pente inférieure sur le plan de glissement horizontal immédiatement inférieur.

D'après les observations faites, il est certain d'autre part que le glissement A_1 que nous avons observé en 1949 et 1950 est sensiblement circulaire. Ce glissement circulaire s'est donc greffé sur un phénomène d'effondrement qui s'est certainement produit en premier lieu, du fait des poussées excessives provoquées par la charge du blockhaus et par les explosions qui ont ajouté leur effet destructeur aux poussées déjà anormales des voûtes des cavités, et de l'eau accumulée dans celles-ci par les ruptures de canalisations.

A l'heure actuelle, la galerie qui a été construite dans cette couche de gault et de gaize a une soixantaine de mètres de longueur. Son débit est important et varie en même temps que les précipitations atmosphériques. Lorsque la galerie fut ouverte, on enregistra 30 litres par minute, ce qui prouve que cette galerie constitue un excellent drainage de la falaise. D'autres galeries qui avaient été construites antérieurement débitent plus ou moins. Leur débit semble bien supérieur à celui des sources connues antérieurement. Il semble donc que

(1) Cette analyse a été faite après la conférence.

dans certaines circonstances des masses d'eau importantes ont pu s'accumuler dans la falaise, et c'est ce qui s'est certainement produit, au moment de la rupture des canalisations d'eau de l'avenue de l'Hippodrome. Il est évident que la poussée de cette masse d'eau s'est ajoutée à toutes les causes précédentes d'instabilité du sol, ce qui a entraîné l'éroulement de la falaise. Cette hypothèse de la présence de cavernes dans le calcaire explique la présence de la fissure située à 20 m environ en projection horizontale du sondage 10, ainsi que l'affaissement de 1 m constaté au voisinage de cette fissure. La fissure supérieure est aussi bien plus profonde que celle qui résulterait du mouvement circulaire. Après le glissement, alors qu'elle était largement ouverte, des ouvriers pouvaient suivre sur une grande profondeur la chute de bouchons de papier enflammés.

Enfin, on a essayé de se rendre compte des conditions de rupture, et on a comparé celles-ci avec les poussées pouvant être normalement développées par le massif limité par la pente existante. D'une façon générale, les poussées d'un massif sans cavité n'atteindraient que le tiers de celles nécessaires à la rupture. La méthode employée pour ce calcul est celle donnée par le professeur TERZAGHI dans son livre *Mécanique théorique des sols*, § 63. Surfaces composites de glissement.

Cette rupture ne peut donc théoriquement être provoquée que par des causes supplémentaires, telle que

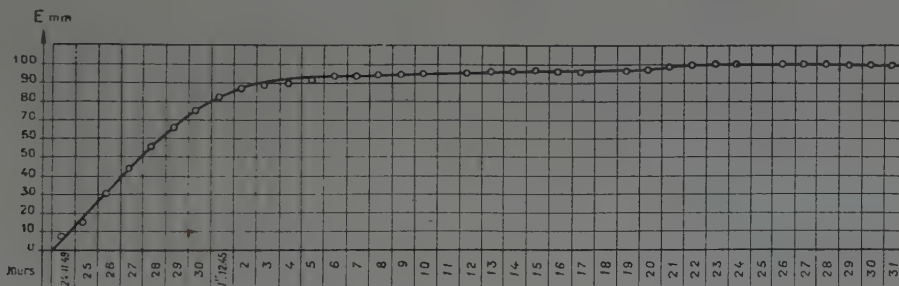


FIG. 11. — Déplacement horizontal du repère.

l'arc-boutement de la masse de calcaire supérieure sur la partie restante d'une part et, d'autre part, la poussée de l'eau emmagasinée dans les vides à la suite de l'obstruction des sources. Tout calcul est évidemment difficile à faire, avec quelque chance de vraisemblance. Il est vraisemblable de penser que plusieurs cavernes existaient, puisque l'équilibre s'est maintenu longtemps et que l'éroulement ne s'est produit que par suite des circonstances défavorables accumulées par la guerre : surcharge de l'ouvrage allemand en envahissement des cavernes par l'eau des canalisations rompues par les explosions, alors que, pour la même raison, les sources s'étaient obstruées.

Ceci m'amène à vous parler des travaux de consolidation que j'évoquais tout à l'heure, qui ont été effectués par M. HUET dans la zone supérieure de glissement.

Lorsque M. HUET eut constaté que les mesures de déplacements semblaient montrer un glissement circulaire, il s'est dit que la stabilisation pourrait être obtenue en chargeant le pied et en déchargeant la partie supérieure du glissement. C'est ce qu'il a en effet très bien réussi, et au minimum de frais.

Les mesures de déplacement qui ont été faites à ce moment-là, en fonction du temps, montrent une courbe qui est nettement stabilisée (fig. 11).

Malheureusement, cette courbe ne reste pas aussi stabilisée qu'on aurait pu l'espérer. Les dernières mesures effectuées montrent que de nouveau les points de cette zone ont tendance encore une fois à s'affaisser, et par conséquent, le glissement reprend légèrement. Ceci n'a rien de surprenant puisque, je vous l'ai dit, dans la zone inférieure se trouvent des blocs qui sont séparés les uns des autres par de grosses fissures.

Par conséquent, même si la partie basse du glissement était complètement stabilisée, il est bien évident que la partie haute continuera de bouger jusqu'à ce que ces vides soient fermés en grande partie.

L'expérience de cette zone de glissement nous montre donc qu'on ne peut pas s'attendre à ce que le remède appliqué apporte une solution absolument efficace du jour au lendemain. Néanmoins, les mouvements de terre précédents, l'ouverture de la galerie, le drainage qui en est résulté, ont certainement amené une stabilisation importante de cette zone, et il faut s'en féliciter, car si ces travaux n'avaient pas été exécutés il est plus que vraisemblable que le glissement se serait largement accentué à la suite des pluies de 1951, succédant aux années de sécheresse précédentes.

Zone A₂.

En ce qui concerne la partie inférieure, nous avons fait des sondages qui se sont échelonnés le long de la pente et qui ont montré, comme je l'ai expliqué précédemment, que l'eau descendait progressivement vers la plage (fig. 1).

La comparaison des trajectoires de divers points montre qu'il est difficile de dire qu'un glissement circulaire s'y soit produit. Alors que normalement le cercle qui atteint le point bas (qui est le kimméridgien) devrait se redresser, alors que l'on devrait par conséquent constater un bourrelet à la pente basse, on constate que les déplacements depuis le point de tangence du cercle à l'horizontale jusqu'à l'affleurement du kimméridgien sont horizontaux. De plus, on constate, là encore, des fissures dans le sol, parallèlement à la côte (fig. 1).

Le phénomène qui se produit est donc quelque peu de même ordre que celui qui se produit en haut sur le gault. Le kimméridgien a des caractéristiques qui lui sont assez comparables. Cependant les comparaisons sont rendues très difficiles du fait de caractéristiques

variables. La teneur en calcaire du kimméridgien varie énormément. Elle varie de 10 % à 50 % en ce qui concerne les marnes noires et argileuses que l'on trouve en premier lieu. L'angle de cisaillement a été trouvé de l'ordre de 10° à 20°. Lorsqu'il est de 10° la cohésion est de 400 g et lorsqu'il est de 20° la cohésion est de 100 à 130 g environ. De même que dans le cas du gault la teneur en eau varie beaucoup tant à l'intérieur de la falaise qu'au pied de la pente suivant que le sol est soumis ou non à des charges localisées. Dans le cas où l'argile a gonflé, la résistance à l'écrasement diminue corrélativement. Ainsi on a trouvé en bas de la pente des échantillons ayant une résistance de 400 g/cm² alors que celle des échantillons tirés du sondage n° 12 est de l'ordre de 8 kg/cm².

Dans le bas des pentes, des sources existent. Il est donc à peu près certain que le glissement n'a pu se produire que grâce aux affouillements par érosion régressive des sables plus ou moins argileux des éboulis et du néocomien et aux poussées qui sont engendrées par les voûtes ainsi créées, conjuguées avec celle de l'eau emmagasinée dans certains cas (rupture des canalisations), obstruction

des sources dues aux explosions). Il résulte de ce qui précède que, au lieu de produire un bourrelet en bas du glissement, le sol a tendance à suivre la surface horizontale du plan de glissement existant à la partie supérieure du kimméridgien (fig. 12). La possibilité même du glissement circulaire peut être largement mise en doute comme dans le glissement supérieur. Il s'agit plutôt d'un mouvement par écoulement et poussée, qui se matérialise peut-être en partie par un mouvement circulaire mais rien n'est moins sûr car on ne dispose pas de points en quantité suffisante dans la zone qui serait de glissement circulaire.

Que l'érosion du néocomien se soit produite, cela résulte, comme nous l'avons expliqué : 1° de la diminution d'épaisseur du néocomien, qui ne paraît pas avoir été entraîné par les éboulements antérieurs, puisqu'on retrouve à sa partie supérieure la couche d'argile dure de l'aptien; 2° du fait que les sables prélevés sur la plage ont une composition minéralogique très voisine (en ce qui concerne les minéraux lourds), et notamment la tourmaline, le zircon et la staurotide, l'andalousite et le disthène (fig. 6); 3° du fait que l'égout de la rue Maurice-Taconnet charrie et dépose du sable.

Or, il ne débite pratiquement que des eaux de sources.

Zone B.

Quand on se déplace vers la zone B, voisine du Havre on constate que les phénomènes changent complètement d'allure. Les nivellements et les déplacements horizontaux montrent des mouvements désordonnés. On ne peut absolument pas matérialiser un glissement circulaire dans cette zone.

Voilà par exemple les deux points n°s 38 et 39 (fig. 1 bis). Ces deux points ont des affaissements et des déplacements horizontaux tels que les déplacements résultants sont presque parallèles. Il n'est donc pas possible de concevoir autre chose qu'une translation pour ces points. Le phénomène est compliqué par le fait que le mur de défense est fondé non pas sur le kimméridgien parce que cela aurait coûté trop cher, mais sur les galets. Cette digue a été attaquée par la mer, elle s'est déplacée et a été déchaussée ces temps derniers parce que les épis qui la protégeaient ont disparu depuis la guerre, faute d'entretien. L'érosion des courants d'eau de surface et surtout des courants de la marée a enlevé les galets qui protégeaient sa fondation. Le filtre qu'ils constituaient et qui stabilisait les sables du talus ayant en grande partie disparu, ces sables sont eux-mêmes soumis à l'érosion et peuvent s'épandre vers la mer. Il y a donc là une cause complémentaire de mouvements qui peut aisément être redressée en procédant aux travaux de réfection nécessaire. Ces travaux ont d'ailleurs été entrepris récemment.

De plus, les ruptures de canalisations ont là encore, aggravé la situation. C'est ainsi qu'on a découvert que des canalisations, coupées par les Allemands, sans bien entendu prévenir les autorités françaises responsables, débitaient plus de 200 m³ par jour dans le sol (cette évaluation résulte de relevés de compteurs).

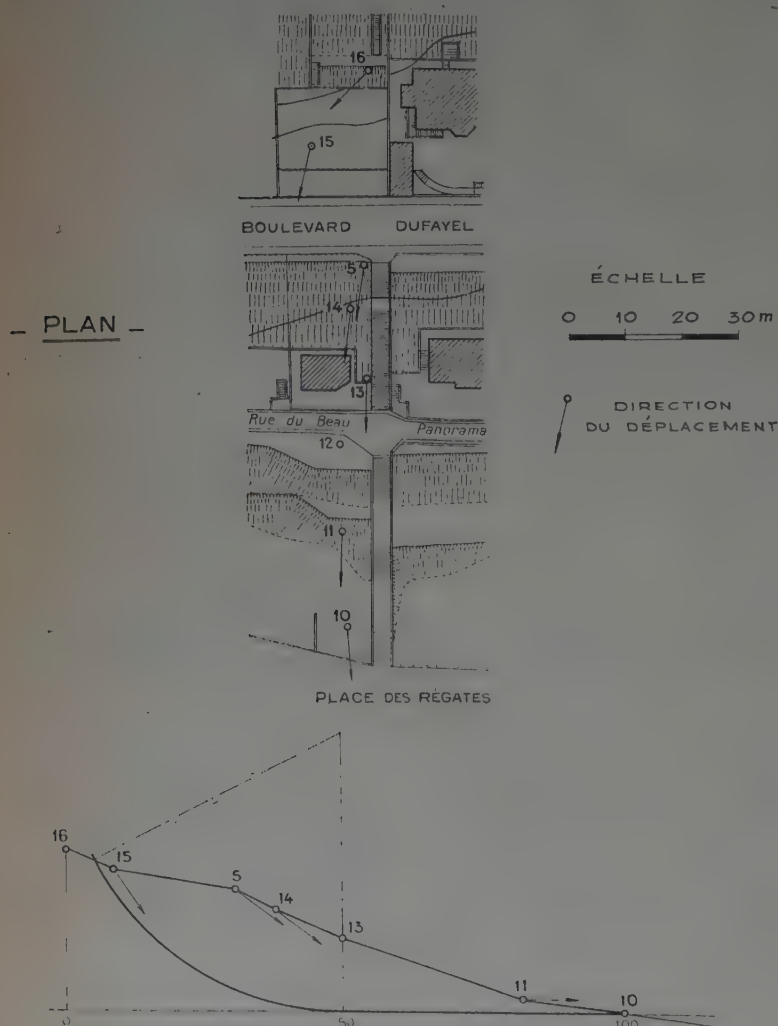


FIG. 12. — Mouvement dans la zone inférieure A₂.

Enfin, cette région comporte beaucoup de sources qui ont aussi la propriété de se déplacer, ce qui trouble sérieusement le régime hydraulique, en général, à la suite d'explosions. Alors que dans la zone précédente le niveau piézométrique se relève lentement, on constate la présence de nappes suspendues et extrêmement dangereuses, du fait du gradient important qui résulte de leur hauteur et de la faible distance à la mer. Des poussées considérables se produisent donc. Des fissures nombreuses sont visibles. Elles évoquent incontestablement un mouvement vers la mer, mais aussi la présence d'affouillements et d'effondrements.

Si on trace les surfaces d'égal affaissement de la zone A₂, elles présentent une forme très allongée qui doit vraisemblablement correspondre dans ce secteur aux cavernes dues à l'érosion régressive dans les sables néocomiens qui sont très argileux. Nous avons essayé de nous rendre compte du débouché d'un courant éventuel souterrain du côté de la plage. Nous n'y sommes pas parvenus. Nous avons constaté que l'eau qui sort des galets à marée basse est moins salée que l'eau de mer. Elle est même beaucoup plus douce que salée, mais enfin on n'a pas matérialisé un point de sortie particulier : l'eau sort aussi bien en dehors de la zone où elle devrait particulièrement apparaître, d'après cette hypothèse. A marée basse, on constate de nombreux écoulements sur la plage et ces écoulements sont certainement constitués d'eau douce, car les chiens en boivent volontiers. On a essayé de localiser le débouché du courant en versant de la fluorescéine dans un sondage de cette zone. On n'a rien observé vers la plage à l'est de la zone B où devrait aboutir le courant. Il est regrettable qu'on n'ait pas eu, à ce moment, l'idée d'aller observer la côte du côté du cap de la Hève, car l'eau peut aussi bien cheminer de ce côté dans les galets et éboulis qui constituent cette zone.

Malgré la réfection des canalisations, les mouvements continuent, mais avec moins d'ampleur. Néanmoins, on constate, à certains moments, des regains d'activité après les fortes précipitations atmosphériques. Il est probable que la reconstruction des épis et la consolidation de la digue provoqueront encore une amélioration complémentaire.

Conclusion.

Maintenant il me reste à répondre aux questions qui m'ont été posées. Quels sont les moyens à prendre pour stabiliser cette falaise ? Est-il possible d'aboutir à un résultat tangible, sinon à une stabilisation complète ? Il est certain que, par des mesures appropriées, une stabilisation relative peut être atteinte, car l'exemple des années d'avant-guerre montre cette possibilité. Déjà je l'ai dit précédemment, on doit s'attendre à une amélioration sensible de la situation lorsqu'auront été exécutés

les travaux de réfection des épis et de la digue. Toutefois cela ne résout pas le problème des poussées, des entraînements, dus à l'érosion par l'eau souterraine et des conséquences des écroulements de cavernes qui se sont produits au moment de la libération et après celle-ci, soit du fait des explosions, soit du fait des ruptures de canalisations. Seul un drainage rationnel permettrait de conjurer ces dangers graves. Comment pourrait-on réaliser ce drainage ? Évidemment, on ne peut pas songer à ouvrir derechef des galeries dans le sable bouillant des zones A₂ et B, ce qui coûterait trop cher. Par contre on pourrait procéder à des drainages obliques par un procédé de sondages qui est maintenant employé d'une façon assez courante dans les barrages. Par ce procédé on pourrait procéder à la ponction de cette masse de sol instable. Lorsque le sable serait suffisamment asséché autour des drains, rien n'empêcherait alors de creuser des galeries de drainage permanent. Ces galeries permettraient éventuellement de combler les vides existant encore par injections et de supprimer par conséquent les poussées résultant de la formation de voûtes. L'érosion régressive pourrait alors être maîtrisée et le glissement sur le kimméridgien ne se poserait plus, de même que celui sur le gault, si les mesures déjà prises étaient généralisées. Sans doute ne pourra-t-on jamais empêcher l'eau de dissoudre le sol calcaire ou glauconieux. Mais, en poussant les drains assez loin, tant en hauteur qu'en profondeur, pour empêcher ce phénomène de se produire dans les pentes actuelles, on peut certainement attendre un résultat satisfaisant. Nous avons vu d'ailleurs que la dissolution est très lente et que de nombreuses dizaines d'années se passeraient avant qu'un nouvel écroulement puisse se produire de ce fait. D'ailleurs, des injections périodiques empêcheraient ces cavernes de se développer.

Évidemment, ce sont là des travaux coûteux qui dépassent sans doute les crédits pouvant être engagés actuellement. Espérons néanmoins qu'ils pourront être entrepris progressivement après les travaux de défense contre la mer.

Messieurs, voilà ce que je voulais vous dire sur les glissements de Sainte-Adresse. Vous voyez qu'il s'agit de phénomènes complexes dont le schéma ne peut se réduire aux données classiques des glissements. Comme toujours, devant la nature on se trouve en face de problèmes qu'il faut résoudre pas à pas et dont l'étude rend nécessaire de nombreuses observations échelonnées sur une longue période. Chaque mesure prise doit donner lieu à contrôle. C'est seulement de cette façon que l'efficacité peut être justifiée. Sans doute jugerez-vous, comme moi d'ailleurs, que jusqu'à présent, on n'a abouti qu'à mettre sur pied une doctrine qui paraît être vérifiée par les nombreuses observations effectuées. Il reste encore beaucoup à faire, et je crois que cette étude devra être encore poursuivie longtemps. Elle offre d'ailleurs un champ d'observations extrêmement intéressant, et qui pourra certainement être utilisé dans des cas analogues.

DISCUSSION

M. LE PRÉSIDENT. — M. BUISSON vient de faire devant nous un diagnostic avec beaucoup de précision. Il l'a fait avec beaucoup de sincérité également, car il a fait la part de l'explicable et de l' inexplicable, et je crois que sa communication sera pour nous un précieux document qui fera réfléchir tous ceux qui s'intéressent aux glissements de terrains.

Je veux le remercier très vivement de cette communication dans laquelle nous voyons apparaître une nouvelle fois l'influence de l'eau dans les argiles. Par l'augmentation de la pression de l'eau infiltrée, les argiles ont été transformées en semi-liquides et réduites à un sol de frottement nul. A cet égard le phénomène de la colline de Sainte-Adresse au Havre présente beaucoup d'analogie avec celui de la colline de Fourvières à Lyon. L'eau potable était fournie aux habitants de Lyon par des galeries horizontales de la colline de Fourvières, jusqu'à ce que l'on installe un service d'eau à Lyon. A ce moment là, les galeries furent abandonnées et l'eau s'accumula dans ces galeries. C'est cette eau qui détermina le glissement dont furent victimes un certain nombre de Lyonnais.

L'heure tardive me conduit à ouvrir immédiatement la discussion sur le problème évoqué avec tant de pertinence par M. BUISSON.

M. MAYER. — J'ai été, comme vous tous Messieurs, très intéressé par cette communication, d'autant plus qu'elle m'a rappelé le glissement de la colline d'El-Biar au-dessus d'Alger, que notre Laboratoire a étudié il y a quelques années. J'ai retrouvé, dans les indications données par M. BUISSON, certains éléments tout à fait analogues à nos observations, en particulier l'absence totale de courbe ou de surface de glissement. Je crois d'ailleurs que, s'il n'en a pas trouvé, c'est qu'il n'y en a pas et que le phénomène qu'il a observé est l'écoulement plastique d'une couche d'argile au contact du calcaire.

Nous avons constaté à El-Biar, en faisant des prélèvements dans la couche d'argile que surmontait le calcaire au sommet de la colline, que lorsqu'on avançait vers la surface libre, au fur et à mesure que cette argile était moins chargée, elle se décomprimait progressivement. Comme elle avait une certaine tendance au gonflement, elle absorbait de l'eau et on pouvait constater son écoulement plastique. Ceci provoquait un entraînement progressif du calcaire. Sous l'effet des tractions produites à la base du calcaire par cette argile, la falaise se fissurait verticalement. Le phénomène se manifestait d'abord par des fissures visibles à la partie supérieure du calcaire. Lorsque la fissuration était complète, les éléments calcaires s'affaissaient brusquement en poinçonnant la couche d'argile; ils progressaient par la suite vers l'aval en même temps que la couche d'argile; celle-ci s'écoulait plastiquement au fur et à mesure que sa partie inférieure, qui absorbait les eaux de ruissellement de toute la colline, se rapprochait de sa limite de liquidité.

Je crois qu'il faut chercher à Sainte-Adresse un phénomène analogue. Faut-il alors rechercher des courbes de glissement qui, à mon avis, n'existent pas ? Je ne le crois pas. C'est un phénomène d'écoulement d'une couche d'argile qu'il faut arrêter. M. BUISSON a raison de dire que le seul remède, dans ce cas là, est de chercher à évacuer l'eau. C'est ce qu'on a cherché à El-Biar, en faisant un système de drainage assez compliqué. Je ne sais pas quels ont été les résultats depuis que j'ai quitté l'Algérie, mais il est certain qu'on avait, déjà à cette époque, amélioré la situation.

Du côté de Sainte-Adresse, il est probable que ce serait plus facile, parce que les pentes sont plus fortes qu'elles ne le sont à Alger, et que par conséquent on pourrait envisager des drains par sondages inclinés qui, à Alger, auraient été tout à fait impossibles à réaliser. On ne pouvait faire que des galeries, qui étaient beaucoup plus onéreuses que les drains inclinés qui me paraissent la solution à Sainte-Adresse.

M. BUISSON. — A Sainte-Adresse, il ne semble pas que les circonstances d'Alger se répètent : 1° on n'observe pas de bourrelet; 2° la teneur en eau de l'argile ne croît pas au fur et à mesure que l'on s'approche du pied du talus. Les variations de teneur en eau sont ici bien plus fonction des pressions locales, qui peuvent être presque annulées, lorsque les points considérés se trouvent sous une voûte ou fortement augmentées lorsque le point se trouve dans une zone de concentration d'efforts, rendue possible par une butée.

Une autre observation importante a été faite en ce qui concerne la galerie qui a été percée dans le gault. On a mis des points de repère dans la galerie qui ont montré que le déplacement horizontal décroît lorsqu'on s'enfonce sous la falaise. A 35 m de l'origine le déplacement est nul, ainsi que le montre la courbe de la figure 9.

M. MAYER. — C'est la couche qui est en place.

M. BUISSON. — Mais la couche miroir existe sur plusieurs kilomètres. C'est cela le mystère. Comment cette couche miroir s'est-elle formée ?

UN AUDITEUR. — Comment avez-vous vérifié qu'elle était de plusieurs kilomètres ?

M. BUISSON. — Parce que de l'autre côté M. HUET fait un tunnel routier et que cette couche y était nettement visible à un niveau voisin de celui de glissement.

M. SUQUET. — J'ai été frappé de ce que disait M. BUISSON sur l'existence d'une couche de sable sous le calcaire et au-dessus des argiles imperméables. Il nous a indiqué que cette couche de sable était aquifère et qu'une série de sources se produisaient le long du talus.

Je rapproche ce qu'a dit M. BUISSON de ce qui se passe dans le coteau de Saint-Cloud. Ce coteau est couronné par une couche de calcaire grossier excellent; c'est de la pierre à bâtir. Au-dessous de ce calcaire existe une petite couche de sable qu'on peut assimiler à des grains de millet et encore au-dessous des argiles imperméables. La couche de sable est aquifère et au cours des temps il a dû s'y produire des entraînements car on constate, à la partie supérieure du coteau, que les couches de calcaire sont profondément disloquées par des fissures atteignant 20, 30, 40 cm.

La première fois que j'ai vu cette fissuration j'ai eu l'idée qu'il avait dû y avoir des exploitations souterraines. Or, ce sont en réalité des entraînements de sable qui se sont produits. Ces couches disloquées arrivent à glisser en raison de la pente, sur les couches inférieures, ce qui produit dans le coteau de Saint-Cloud des glissements assez importants et fort gênants pour les murs de clôture et les constructions.

Série : TRAVAUX PUBLICS (XVII).

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 8 AVRIL 1952

SOUS LA PRÉSIDENTENCE DE **M. BOUTET,**

Président honoraire du Conseil Général des Ponts et Chaussées.

ÉTUDE DES REVÊTEMENTS BÉTONNÉS POUR ROUTES ET AÉRODROMES

Par **M. R. PELTIER,**

Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Sous-Directeur du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

SOMMAIRE

	Pages.
I. Introduction	1149
II. Définitions et caractéristiques.....	1149
III. Observations au microscope électronique.....	1150
IV. Esquisse d'une « théorie des bétons ».....	1153
V. Le béton routier optimum.....	1153
VI. La méthode Vallette.....	1154
VII. Résultats.....	1156
VIII. Augmentation de cette résistance.....	1156
IX. Entraîneurs d'air.....	1157
X. Gel.....	1158
XI. Contrôle des bétons routiers.....	1158
XII. Conclusions.....	1159

ALLOCUTION DU PRÉSIDENT

Je crois que vous n'attendez pas de moi que je vous présente M. PELTIER. Certes, je le connais depuis de longues années, mais je crois que vous le connaissez depuis aussi longtemps que moi,

Comme moi aussi vous avez sans doute fait appel à sa compétence et à l'expérience qu'il a acquise, depuis quelques années qu'il appartient aux *Laboratoires des Ponts et Chaussées*, en qualité de Sous-Directeur, après avoir occupé divers emplois importants aux colonies.

Vous savez qu'il s'est spécialisé dans diverses questions qui restent délicates pour les ingénieurs, notamment les problèmes de stabilisation et de consolidation des sols. Il s'est également spécialement dépensé pour la mise au point du microscope électronique, qu'avec

mon ami DURIEZ nous avons eu tant de mal à obtenir. Il a cherché aussi à mettre au point la technique des bétons en s'inspirant de ce que lui avaient appris les techniques qu'il avait étudiées dans différents autres domaines.

C'est justement en essayant d'adapter la technique des bétons aux techniques de consolidation, de stabilisation du sol et surtout en tenant compte des connaissances nouvelles que nous apporte le microscope électronique qu'il a acquis en la matière une expérience exceptionnelle. En rapprochant les éléments communs il est arrivé à des conclusions fort intéressantes qu'il vous présentera sous un jour nouveau dont vous apprécierez l'intérêt. Je lui passe la parole.

RÉSUMÉ

L'utilisation du béton comme revêtement routier a souvent donné lieu à des déboires importants. Cela tient aux caractéristiques que doit présenter un béton routier : très faible teneur en eau, forte proportion de gravillon, grande résistance à la traction, imperméabilité, résistance au gel.

L'examen au microscope électronique a permis de déterminer le processus de la prise du ciment et de proposer une théorie du béton à partir de laquelle l'auteur étudie la réalisation du béton routier optimum, c'est-à-dire du béton à résistance à la traction maximum. Les Cahiers des charges français fixent cette résistance à différents âges suivant des règles contredites par les expériences récentes.

Le conférencier précise comment il faut faire varier les dosages en ciment, sable et agrégats de différentes dimensions pour parvenir au résultat cherché. Il indique ensuite les avantages procurés par l'utilisation d'air et la façon d'éviter les effets du gel. Il analyse enfin quelques méthodes de contrôle en insistant sur l'importance de leur précision.

SUMMARY

The use of concrete as road covering has often caused some disappointments. This is due to the characteristics expected from a road concrete : small proportion of water, large proportion of gravel, great tensile strength, impermeability, frost resistance.

Examination with an electronic microscope has enabled to determine the process of cement setting and to propose a concrete theory by means of which the author studies the optimum road concrete, i. e. concrete with a maximum tensile strength. The French specifications define this strength at different ages according to rules contradicted by recent experiments.

The lecturer explains how to vary the proportions of sand, cement and aggregates of different dimensions in order to arrive at the result desired. Then he indicates the advantages obtained by the use of air and the way to avoid frost effects. Finally he analyzes several control methods, stressing the importance of accuracy in their use.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

EXPOSÉ DE M. PELTIER

I. — Introduction.

La technique routière distingue deux types de chaussées;

Les chaussées à revêtement rigide, c'est-à-dire en béton de ciment.

Et les chaussées à revêtement souple.

Je suis chargé aujourd'hui de vous parler du premier type de chaussée. C'est là un problème d'actualité, car les revêtements rigides subissent à l'heure actuelle une crise, dans le monde entier.

Alors qu'avant la guerre beaucoup d'ingénieurs voyaient dans le béton la solution de luxe et la solution d'avenir des routes à grand trafic, une certaine désaffection se manifeste aujourd'hui à son égard, dans le monde entier. On l'accuse tout d'abord de coûter très cher, ce qui ne serait d'ailleurs que demi-mal si ce coût élevé était compensé par une durée plus longue et des frais d'entretien plus réduits; mais même la valeur technique du revêtement en béton a été mise en doute.

On a constaté en effet des ruptures de dalles généralisées sur des tronçons de route très étendus, rendant ainsi la chaussée inutilisable. Ces inconvénients ont été constatés sur une grande échelle aux États-Unis d'Amérique, qui, entre les deux guerres, dans leur gigantesque effort de construction d'un réseau routier, avaient réalisé de grandes longueurs de routes en béton; mais ils se manifestent aussi dans notre pays, où notamment la route Lille-Dunkerque, dans ses tronçons en béton, s'est détériorée à une allure très rapide après avoir parfaitement tenu pendant une quinzaine d'années.

Ces détériorations de routes en béton se sont multipliées à une telle cadence, que de nombreux ingénieurs parmi les plus compétents se sont même demandé si elles n'étaient pas les signes précurseurs de la victoire définitive des revêtements souples sur les revêtements rigides.

La question est donc d'importance, et mérite d'être examinée de très près. Elle se pose non seulement pour les routes proprement dites, mais aussi pour les pistes d'envol, où le problème est simplement extrapolé quant à la largeur et à l'épaisseur du revêtement pour qu'elles puissent supporter des charges beaucoup plus lourdes. Nous entendrons donc ici le mot route dans son sens le plus large, englobant non seulement les routes, au sens habituel du mot, mais aussi les routes terrestres pour avions que sont les pistes d'envol et les taxi-ways.

Au cours de cette conférence, il me sera impossible de traiter dans sa généralité le très vaste problème des revêtements rigides. Je me bornerai donc à en examiner un des aspects essentiels, celui du matériau, c'est-à-dire le béton routier. J'étudierai ses caractéristiques, la meilleure façon de le composer, son mode de fabrication et de contrôle et les tendances actuelles quant à son évolution.

Je me propose d'ailleurs dans une autre conférence que je dois faire à Bruxelles à la fin de ce mois, d'examiner les autres problèmes que posent les revêtements rigides : le calcul des épaisseurs des dalles, l'influence du sol de fondation et du trafic, le problème des joints, etc.

Je me bornerai ici à quelques indications très brèves à cet égard.

II. — Définition et caractéristiques.

Dans leur grande majorité les revêtements rigides sont construits, tout au moins jusqu'à maintenant, en béton non armé. C'est à ceux-là qu'il faut réserver le nom de « bétons routiers », car ils se distinguent nettement des bétons habituels de la construction. Il n'en est pas toujours de même des bétons armés ou précontraints qui entrent parfois dans la construction de revêtements routiers rigides; Il doit donc être précisé que par *béton routier* nous entendons béton routier non armé.

Les caractéristiques spéciales du béton routier proviennent des conditions particulières des chantiers routiers d'une part, et du mode de travail du béton en revêtement, d'autre part.

Sur ces chantiers, on doit généralement confectionner de grandes surfaces de béton, rarement inférieures par chantier à plusieurs dizaines de milliers de mètres carrés. Ce sont donc des chantiers massifs et relativement concentrés, sur lesquels les entreprises peuvent installer de très gros moyens, non seulement pour la fabrication du béton qui se fait dans d'importantes centrales perfectionnées, mais aussi pour sa mise en place. Cette dernière s'effectue généralement à l'aide de puissantes machines mobiles permettant une vibration intense du béton. D'autre part l'épaisseur des dalles est bien rarement inférieure à 20 cm, c'est dire que ces bétons s'utilisent en assez grosses masses.

Ces puissants moyens de mise en œuvre et cette facilité de mise en place permettent d'utiliser des bétons très peu maniables et à gros éléments. Et c'est là sans doute la caractéristique principale des bétons routiers : *leur très faible maniabilité*. On sait, et d'ailleurs nous reviendrons plus loin sur ce point que les meilleurs bétons, quant à leurs qualités mécaniques, sont généralement les bétons les moins maniables; ce sont eux notamment qui

conduisent à un $\frac{C}{E + V}$ maximum. Par contre un béton peu maniable est par définition difficile à mettre en place, surtout si les coffrages sont compliqués et les armatures nombreuses. L'ingénieur, dans les techniques générales de construction, choisit alors un compromis et adopte un béton de maniabilité minimum compatible avec une facilité de mise en place correcte, compte tenu d'un coefficient de sécurité variable avec la régularité du béton obtenu.

Dans les ouvrages en béton armé le béton doit être très maniable.

Au contraire, sur les chantiers routiers, le béton est très régulier, car il est contrôlé de près et confectionné dans des centrales perfectionnées. D'autre part les moyens de mise en œuvre sont très puissants, aussi a-t-on pu réduire la maniabilité des bétons routiers à des taux extrêmement bas.

J'aurais aimé, surtout en qualité d'ingénieur de laboratoire, pouvoir vous donner des chiffres à ce sujet. Mais il n'existe pratiquement pas de test pour mesurer la maniabilité de tels bétons. Au « slump test » ils indiquent invariablement zéro comme affaissement du cône; et si bien des recherches sont en cours actuellement dans le monde entier pour mettre au point de nouveaux essais de mesure de la maniabilité des bétons, cette mise au point paraît encore bien lointaine tant sont dispersés les résultats obtenus. Je vous dirai toutefois, pour fixer les idées, que le dosage en eau des bétons habituels de la construction est de l'ordre de 150 à 170 litres, alors que le dosage en eau des bétons routiers n'est que de 110 à 120 litres.

Cette faible maniabilité des bétons routiers provient de deux causes : d'une part leur faible teneur en eau, d'autre part leur forte proportion en gros éléments. Le Cahier des charges, tant pour les routes que pour les pistes d'envol, impose un minimum de 500 litres de gravillon en volume absolu par mètre cube de béton mis en œuvre; ce qui est déjà élevé. Or, la recherche des meilleurs bétons conduit, comme nous le verrons plus loin, à augmenter encore cette proportion, et les bétons routiers où le volume absolu de gravillon dépasse 550 litres ne sont pas rares.

Une autre caractéristique des bétons routiers est leur forte résistance à la traction. Il était naturel que l'on tende, pour les dalles, à accroître la résistance à la traction du béton; car en fait, ces dalles ne travaillent sur la chaussée qu'à la traction ou, ce qui revient à peu près au même, à la flexion, soit sous l'effet des charges qui les font fléchir, soit sous l'effet des variations hygrothermiques qui leur impriment à la fois traction et flexion. Pour les bétons routiers la résistance à la compression est accessoire sinon inutile. Mais par contre il est du plus grand intérêt d'accroître leur résistance à la traction.

Cet intérêt est même multiple; car en accroissant la résistance du béton à la traction, on peut réduire pour un moment fléchissant donné l'épaisseur de la dalle en béton, donc accroître sa souplesse. Or une dalle plus souple charge davantage le sol et réduit alors la contrainte dans la dalle, ce qui permet une nouvelle réduction de l'épaisseur de la dalle et ainsi de suite.

Nous verrons ceci de plus près quand nous aborderons le calcul des dalles. Nous n'en retiendrons pour le moment que le grand intérêt que l'on attache à obtenir une forte résistance à la traction des bétons routiers. Voyons maintenant comment on pourra obtenir cette qualité.

III. — Observations au microscope électronique.

Il existe de nombreuses théories et formules pour expliquer et calculer la résistance des bétons à la compression. On connaît notamment celle de Féret qui indique que cette résistance est une fonction croissante de $\frac{C}{E + V}$.

Il existe beaucoup moins de théories, en ce qui concerne la résistance à la traction ou à la flexion des bétons.

Il semble toutefois que quelques progrès puissent être faits dans cette voie grâce aux observations faites au microscope électronique. Tout au moins, les explications que l'on peut déduire de ces observations paraissent particulièrement claires et parlantes. Je vais essayer de vous montrer comment, des observations générales faites au microscope électronique, on peut déduire les principes d'exécution des meilleurs bétons routiers. Il ne s'agit pas, à proprement parler d'une théorie du béton, mais d'une représentation imagée dont on peut déduire assez clairement des conclusions pratiques qui se trouvent être confirmées par l'expérience.

Sur les photographies ci-incluses de ciment prises au microscope électronique du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, on peut suivre l'évolution du phénomène de la prise et du durcissement des ciments Portland et des ciments de laitier. Nous n'examinerons pas aujourd'hui les autres types de ciment, car d'une part ils donnent lieu à des phénomènes de prise assez différents, d'autre part ils ne sont pratiquement jamais utilisés dans la confection des bétons routiers.

Pour les Portland donc, la prise semble commencer par la naissance de particules assez mystérieuses : les *sphérules*. Ces particules, comme vous le voyez sur la figure 1, sont parfaitement sphériques et aussi lisses et régulières que des boules de billard microscopiques. La nature même de ces sphérules est assez mystérieuse. Il ne peut s'agir de cristaux puisque la forme sphérique est incompatible avec la structure par plans réticulaires des cristaux. L'hypothèse la plus probable qui ait été faite à leur sujet est qu'il s'agit de micelles colloïdales géantes.

Ces micelles grossissent aux dépens du milieu ambiant et deviennent instables dès qu'elles dépassent un certain diamètre. Il est rare d'observer des sphérules aussi grosses que celles de cette photo dont le diamètre est de l'ordre de 2 μ . En général les sphérules éclatent pour des diamètres inférieurs au micron.

Cet éclatement, qui correspondrait au passage de l'état colloïdal à l'état cristallisé, paraît assez brutal. Brusquement la sphérule se couvre d'aiguilles cristallines; la boule de billard est alors transformée en une espèce d'oursin. Ces aiguilles se développent progressivement aux dépens du noyau central qui finit par disparaître.

Sur les figures 2 et 3 on observe des sphérules qui viennent d'éclater. On remarquera que les aiguilles ont sur toute leur longueur un diamètre constant et qu'elles semblent croître par leur extrémité.

Certains auteurs ont indiqué que les aiguilles cristallines ne naissent pas toujours de sphérules. Cela semble être le cas pour les aiguilles de la figure 4, qui paraissent avoir pris naissance directement sur de minuscules grains de ciment.

Quoi qu'il en soit l'aspect final du ciment, après prise et durcissement, est donné sur les figures 5 et 6, où l'on voit un enchevêtrement de filaments cristallins, analogue à celui que l'on observerait en regardant à la loupe un tissu de laine, de soie ou de coton.

Lorsqu'il y a des grains inertes dans le ciment, les filaments cristallins semblent chercher à s'accrocher sur la surface de ces grains inertes. C'est le cas de la figure 7.

Il y a lieu d'ailleurs de signaler que la naissance des aiguilles peut se produire à toute époque, augmentant ainsi progressivement la résistance du béton.



FIG. 1. — Sphérules de ciment avant éclatement
(grossissement 10 500).

*Les sphérules représentées ici sont anormalement grosses.
On notera leur parfaite sphéricité.*



FIG. 2. — Sphérules de ciment
immédiatement après leur éclatement (grossissement 8 750).

*On remarquera l'épaisseur régulière des aiguilles
qui n'ont pas de bout pointu.*

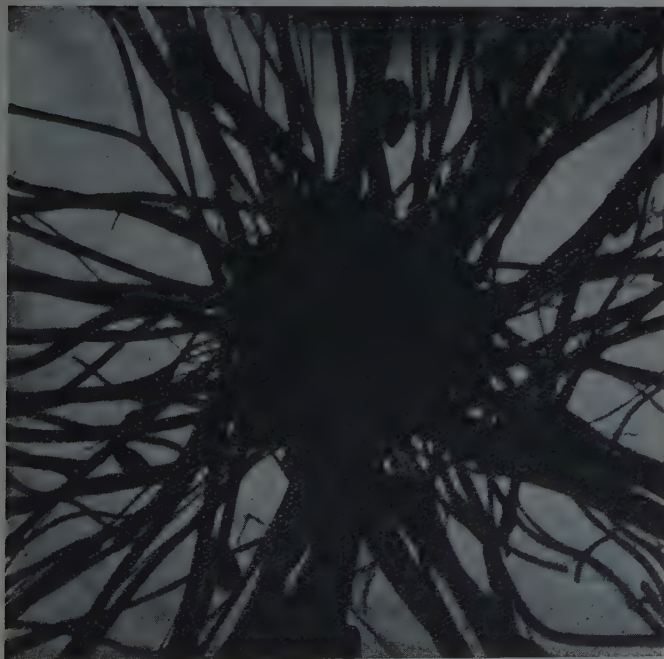


FIG. 3. — Sphérule de ciment un certain temps après éclatement
(grossissement 8 750).



FIG. 4. — Aiguilles de ciment isolées (grossissement 10 500).



FIG. 5. — Aspect final du ciment (grossissement 10 500).

Les aiguilles cristallines forment un véritable feutrage.

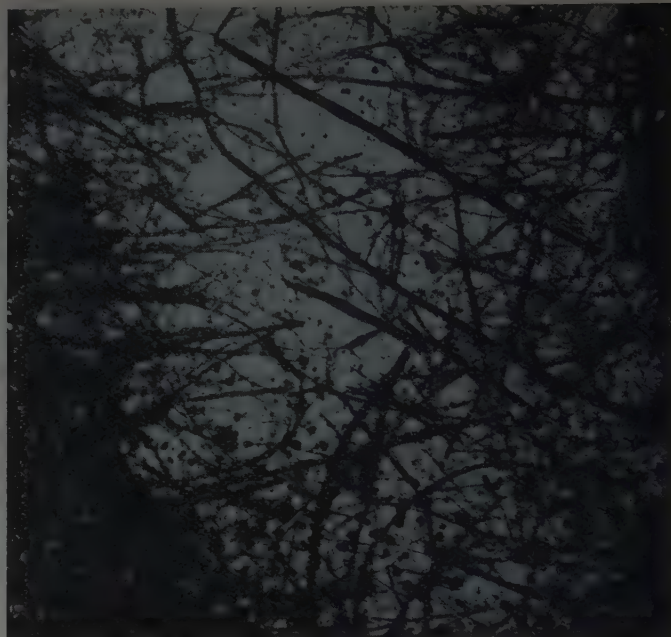


FIG. 6. — Interpénétration de deux feutrages voisins (grossissement 10 500).

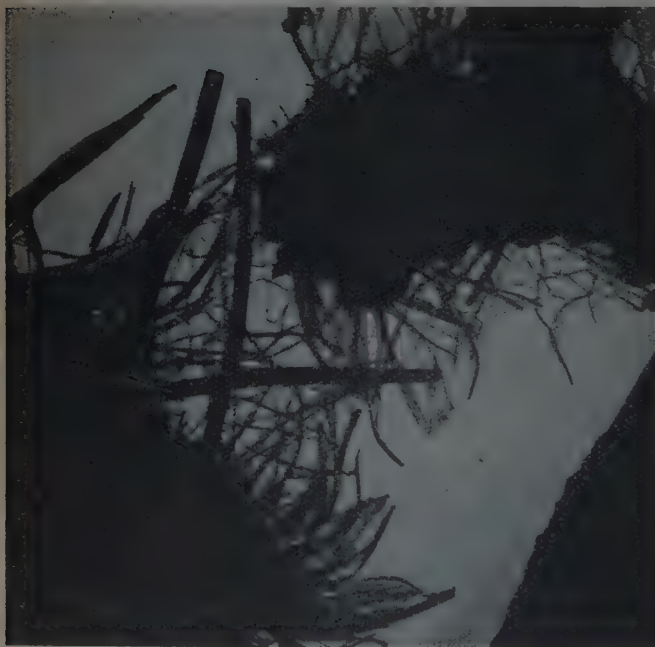


FIG. 7. — Aspect chevelu de deux grains de ciment au cours de la prise (grossissement 8 750).



FIG. 8. — Aspect final d'un mortier (grossissement 8 750).

On remarquera les aiguilles qui viennent se souder aux éléments inertes.

IV. — Esquisse d'une « théorie des bétons ».

Il n'est bien entendu pas certain que le ciment se comporte dans un béton réel comme dans nos observations au microscope électronique. Dans ces dernières, il a fallu opérer à des concentrations très faibles, afin de disperser au maximum les grains de ciment et de ne pas surcharger la photographie. Par ailleurs, la préparation, avant son observation au microscope est desséchée, car l'eau n'est pas transparente aux rayons électroniques, et bien entendu la concentration augmente progressivement jusqu'à l'infini, au cours de cette dessiccation. Mais d'autres considérations, qui seraient trop longues à exposer ici, conduisent à penser que la concentration ne joue pas un rôle très important et que dans les bétons réels, le ciment prend la forme de ces filaments cristallins que nous venons de voir.

Finalement, et ce sera là l'hypothèse de base qui nous guidera dans notre étude théorique des bétons, il semble que l'on puisse se représenter de la façon suivante les phénomènes qui se produisent dans le béton :

1° Tout d'abord, le béton frais est un mélange de graviers, de sable, d'eau, d'air et de grains de ciment. Pour un dosage en ciment déterminé on cherche à faire entrer dans le volume unité de béton le maximum de gravillons et de sable, c'est-à-dire, à diminuer les quantités d'air et d'eau. On est gêné dans cette opération, d'une part par les pellicules d'eau adsorbée autour des petits grains qui tend à les séparer, d'autre part par les grains de ciment qui se collent à la surface des grains de l'agrégat et empêchent fréquemment ceux-ci d'entrer en contact direct.

2° La prise du béton est due à la transformation des grains de ciment en ces filaments cristallins microscopiques que nous avons vus sur les photographies; soit que le ciment se dissolve et donne naissance à des sphérules colloïdales qui se transforment ultérieurement en aiguilles, soit que les aiguilles se forment directement sur les grains de ciment qui disparaissent peu à peu en nourrissant leurs aiguilles. Ces aiguilles s'enchevêtrent les unes aux autres sans jamais se souder, formant ainsi une sorte de tissu feutré. Elles cherchent à s'accrocher aux grains inertes; et si elles parviennent à relier entre eux deux grains voisins, elles les cousent en quelque sorte entre eux, donnant ainsi de la cohésion au béton.

3° Le durcissement, qui n'est qu'un prolongement du phénomène de prise, est dû à la prolifération de ces aiguilles. On conçoit que la vitesse de cette prolifération varie avec le temps; nulle au début, elle doit passer par un maximum très net peu après le début de prise, puis décroître lentement et asymptotiquement vers zéro.

Mais l'on sait que la décroissance de cette vitesse est bien lente, puisqu'il se produit encore de nouvelles aiguilles au bout de plusieurs mois, provoquant un accroissement continu de la résistance.

4° Ceci suppose que la quantité d'eau interne du béton ne varie pas. Si elle varie, que se passe-t-il ?

Si le béton est immergé, les ménisques superficiels qui tendaient à rapprocher les grains d'agrégat sont détruits; le béton gonflera alors très faiblement.

Mais s'il est exposé à l'air, à faible hygrométrie, le béton se desséchera.

Les ménisques se creuseront de plus en plus, les gros pores se videront, et l'eau se réfugiera dans les fentes

les plus étroites du béton, c'est-à-dire au voisinage des points de contact des grains. Cette eau résiduelle réfugiée dans les interstices intergranulaires les plus fins de l'agrégat, comportera des ménisques très courbes, provoquant par l'intermédiaire de la tension superficielle une traction considérable entre les grains de l'agrégat qu'elle rapprochera. C'est là l'origine du retrait, selon une explication actuellement classique.

Nous avons vu que les grains de l'agrégat avaient rarement des contacts réels, mais étaient généralement séparés par des grains de ciment qui se transformaient à la prise en touffes d'aiguilles. Ces aiguilles sont relativement flexibles. Sous la traction des ménisques, elles fléchiront donc sensiblement, et c'est ce qui explique que le retrait soit bien supérieur, dans un béton, à ce qu'il serait dans un agrégat inerte de même composition granulométrique.

On pourrait tirer de cette théorie du béton un grand nombre de conclusions intéressantes; mais ceci nous mènerait bien en dehors du sujet. Aussi me bornerai-je à indiquer les conclusions qui intéressent les bétons routiers, et à en déduire les principes qui doivent guider les ingénieurs pour la construction de leurs routes ou de leurs pistes d'envol.

V. — Le béton routier optimum.

a) Si nous considérons un béton dont la teneur en eau ne varie pas au cours du durcissement, il est logique d'admettre que sa résistance sera une fonction croissante de la densité intergranulaire des aiguilles cristallines du ciment. Si on appelle alors, suivant les notations bien connues, G , S , C , E et V les volumes absolus respectifs du gravier, du sable, du ciment, de l'eau et des vides, contenus dans l'unité de volume apparent du béton, la densité des filaments cristallins de ciment par unité de volume intergranulaire du béton sera proportionnelle à :

$$\frac{C}{1 - (G + S)} \quad \text{soit} \quad \frac{C}{C + E + V} = \frac{1}{1 + \frac{E + V}{C}}$$

puisque l'on a par définition :

$$G + S + C + E + V = 1.$$

On trouve ainsi que la résistance du béton doit être une fonction croissante de $\frac{C}{C + E + V}$, donc de $\frac{C}{E + V}$.

C'est le principe même de la formule de Feret.

On peut même dire, mais ceci d'une façon beaucoup plus approximative, que la cohésion du béton croît proportionnellement à la densité des aiguilles, qu'il en est à peu près de même du frottement interne puisque les aiguilles accroissent la rugosité de la surface des grains, et que par conséquent la résistance du béton à la compression, qui est le produit de la cohésion par un frottement interne, est proportionnelle au carré de la densité intergranulaire des aiguilles.

Soit :

$$R = K \left(\frac{C}{C + E + V} \right)^2.$$

C'est là, la formule exacte de Feret.

Bien entendu, ceci n'est que très schématique; on pourrait grâce à la théorie précédente, préciser beau-

coup plus cette formule, mais cela concerne uniquement la résistance à la compression; or ce qui nous intéresse dans les bétons routiers est avant tout la résistance à la traction. C'est celle là seule que nous allons examiner maintenant.

La résistance à la traction d'un béton est due uniquement aux filaments cristallins. Il n'y a pas ici intervention du frottement interne; par conséquent la résistance à la traction T d'un béton doit être proportionnelle à la densité des aiguilles, toutes choses égales par ailleurs. Donc :

$$T = K \frac{C}{C + E + V}$$

C'est bien ce que l'on constate pratiquement, tout au moins sous quelques réserves sur lesquelles je reviendrai plus loin.

On aura donc intérêt, toutes choses égales par ailleurs, à augmenter au maximum le rapport $\frac{C}{E + V}$ des bétons routiers, mais l'intérêt sera moins grand cependant que pour la résistance à la compression.

Finalement, on peut énoncer ainsi le *premier principe de la confection des bétons routiers* :

Chercher à rendre $\frac{C}{E + V}$ maximum.

b) Un second principe peut être trouvé en analysant, au moyen de la théorie précédente, le processus de la résistance à la traction des bétons. Nous avons vu que les aiguilles s'entrecroisaient sans se souder entre elles, mais qu'elles s'accrochaient aux grains inertes. La résistance à la traction du béton serait donc due, pour une part, au feutrage des aiguilles entremêlées, et pour une autre part aux aiguilles qui parviennent à relier deux grains voisins.

Il semble que le second mode soit le plus efficace, car on obtient des résistances à la traction plus élevées avec les bétons routiers qu'avec les pâtes pures de ciment. Pour ces dernières, seul l'effet de feutrage des aiguilles joue, tandis que pour les bétons, il s'y ajoute l'effet de couture des grains entre eux.

On peut même dire qu'actuellement, tout l'art des bétons routiers consiste, par une granulométrie appropriée de l'agrégat, à accroître la résistance à la traction de la pâte pure. Pour les bétons ordinaires, la résistance maximum à la traction paraît être celle de la pâte pure; mais pour les bétons routiers, et ceci paraît à première vue paradoxal, on peut dépasser largement cette résistance de la pâte pure.

C'est aux points de contact, ou de pseudo contact, des grains de l'agrégat, que la résistance à la traction du ciment doit être la plus élevée, car d'une part les aiguilles parviennent à relier deux grains entre eux, d'autre part les aiguilles y sont plus courtes et il est normal d'admettre que plus les aiguilles seront longues plus elles seront fragiles. En règle générale on aura donc intérêt à multiplier les points de contact et à réduire au minimum la distance intergranulaire, ce qui fournit une nouvelle raison d'essayer d'obtenir des bétons aussi pleins que possible.

Malgré tout, les filaments cristallins de ciment sont des points faibles du béton; sauf cas exceptionnels, leur résistance à la traction est inférieure à celle des pierres de l'agrégat. Si tous les filaments, et si tous les points de contact intergranulaires étaient identiques, cela n'aurait pas d'importance que les grains de l'agrégat

soient plus ou moins gros. Mais en réalité, les points de contact sont diversement résistants; or dans la chaîne de points de contact que constitue le béton c'est toujours le point le plus faible qui entraînera la rupture. On aura donc intérêt à avoir des éléments de chaîne, c'est-à-dire des grains d'agrégats aussi gros que possible. Il faut alors réaliser la granulométrie qui donne à la fois le maximum de gros éléments et le maximum de points de contact directs ou indirects de ces gros éléments. Ceci ne peut être possible (et ce sera le second principe) qu'en *utilisant une granulométrie discontinue* à maximum de gros éléments, et dont les vides intergranulaires soient aussi bien remplis que possible par le mortier.

On peut bien tirer d'autres enseignements utiles de cette théorie des bétons routiers; nous y reviendrons plus loin. Nous retiendrons pour le moment que les meilleurs bétons routiers, ceux qui doivent avoir la meilleure résistance à la traction, sont ceux dont la granulométrie est discontinue, à maximum de gros éléments, ou ce qui revient au même, à minimum d'éléments fins, et dont le béton est aussi plein que possible.

Ce sont exactement là les principes qui ont guidé M. VALLETTE dans la conception de sa célèbre méthode d'étude granulométrique d'un béton. M. VALLETTE avait, je crois, surtout pour but l'obtention d'une résistance à la compression maximum. Mais ces principes sont encore plus valables dans le cas de la résistance à la traction. D'où le succès général de la méthode de M. VALLETTE, pour l'étude des bétons routiers, en France tout au moins.

A vrai dire, c'est surtout par un souci cartésien de développement du raisonnement, que j'ai voulu vous montrer que les observations des ciments au microscope électronique conduisaient à énoncer les règles de composition optimum des bétons routiers. En réalité c'est par des essais pratiques de rupture à la flexion de prismes en béton, que l'on est arrivé aux conclusions ci-dessus. Et je vous indiquerai à ce sujet que le rapport belge au dernier Congrès de la Route à Lisbonne relate des résultats d'essais entrepris dans ce pays avec différents types de granulométrie; il conclut très nettement, pour les bétons routiers, en faveur de la méthode de M. VALLETTE.

La théorie ci-dessus est alors surtout utile pour guider l'esprit dans le problème si complexe du béton optimum. Nous en donnerons quelques exemples typiques plus loin. Mais il est indispensable de toujours vérifier ses conclusions par des essais pratiques.

VI. — La méthode Vallette.

La méthode de M. VALLETTE consiste à remplir exactement les vides du gravier par du mortier; ce mortier étant lui-même choisi pour être aussi plein que possible.

M. VALLETTE a même prévu le cas où l'on aurait deux catégories nettement distinctes de gravier. Mais cela n'a aucune utilité pratique pour les bétons routiers, je ne m'y arrêterai donc pas.

Bien entendu pour que le gravier soit en proportion maximum, il faut que ses vides soient mesurés dans un état de compacité maximum. Aussi, au *Laboratoire des Ponts et Chaussées*, procédons-nous comme suit : le gravier est placé dans un récipient métallique plein d'eau, et vibré très fortement. On mesure alors ses vides à l'aide de l'eau.

Le même essai sert d'ailleurs à deux mesures : la mesure des vides d'une part, et la mesure de l'eau de mouillage des pierres d'autre part. On opère sur un poids connu de pierres séchées avec soin. Puis on ajoute de

l'eau et on vibre jusqu'à ce que l'eau affleure juste au-dessus des pierres; on note la quantité d'eau ainsi ajoutée.

Puis on vide le récipient de son eau. Le volume d'eau ainsi recueilli est le volume des vides du gravier. L'eau retenue par les pierres, qui est l'eau de mouillage des pierres est connue par différence. Il s'agit alors de remplir ces vides avec du mortier.

Mais il convient que ce mortier soit, lui aussi, aussi plein que possible. Pour l'étude de ce mortier, on remarquera que l'on connaît la quantité de ciment qu'il doit contenir, puisque l'on se donne toujours à priori le dosage du béton en ciment, quitte d'ailleurs à faire plusieurs essais avec des dosages différents. On met donc dans un récipient métallique placé sur une table vibrante, une certaine quantité de ciment, en général une fraction simple du dosage par mètre cube. Puis on ajoute un peu de sable, on mélange bien et on vibre en ajoutant progressivement de l'eau. Brusquement le mortier paraît humide, il resseue. On note alors le poids d'eau et de sable ajoutés, ainsi que le volume apparent du mortier. Et l'on recommence l'essai en ajoutant du sable et de l'eau. On obtient alors une double courbe donnant en abscisse le volume apparent du mortier et en ordonnée les dosages en sable et en eau du mortier.

Quand on a cette courbe le problème est théoriquement résolu. Il suffit d'y prendre l'ordonnée correspondant aux vides du gravier pour connaître les poids d'eau et de sable à incorporer au gravier; plus exactement, en ce qui concerne le dosage en eau, il faut ajouter à ce poids la quantité d'eau de mouillage du gravier que nous avons précédemment déterminée.

J'ai dit que le problème était théoriquement résolu. Il ne s'agit en effet que d'une solution théorique, car si on mélange, graviers, sable, ciment et eau suivant les proportions ci-dessus calculées, on constate que le volume du béton dépasse 1 m³. Cela provient du fait que ce béton est très peu maniable, et que les grains de ciment, au lieu de se mettre à la place qui leur est assignée, se collent contre la paroi des gros grains et les empêchent ainsi de se rapprocher autant qu'il le faudrait. Aussi doit-on, de cette composition théorique, tirer une composition pratique qui soit réalisable avec les engins de mise en œuvre dont on dispose sur le chantier.

Pour cela, on utilise au *Laboratoire des Ponts et Chaussées*, la méthode suivante : sur une table vibrante très puissante, on fixe des moules à éprouvettes cubiques de béton et l'on y confectionne, d'une part le béton théorique ci-dessus, d'autre part des bétons qui s'en déduisent en remplaçant des fractions croissantes de gravier en volume absolu, par du sable mouillé. On note les compacités.

On obtient alors une courbe qui passe par un net maximum pour un certain remplacement du gravier par du sable mouillé. C'est ce maximum, qui correspondra à la composition pratique du béton. Il ne restera plus qu'à effectuer une légère correction du dosage en ciment pour tenir compte du rendement du béton. M. LÉZY, assistant Chef au *Laboratoire des Ponts et Chaussées* a d'ailleurs imaginé une formule pratique, qui lui permet de passer très rapidement de la composition théorique à la composition pratique et évite ainsi bien des tâtonnements.

Cette formule, à caractère empirique, a été déduite des nombreux essais de bétons routiers faits depuis plusieurs années, pour des cas concrets au *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*. Elle consiste à relier les vides réels de l'agrégat tels qu'ils existent dans le béton, aux vides de l'agrégat mesurés dans l'essai de vibra-

tion sous l'eau précité. M. LÉZY a remarqué que l'augmentation du volume des vides variait avec le rayon moyen du gravier. Ce qui paraît assez naturel car cette augmentation du volume des vides est due en quelque sorte au ciment qui se colle en couche monogranulaire sur les grains de l'agrégat.

Il suffit alors de se reporter à la double courbe du mortier donnant son dosage en eau et en sable en fonction du volume apparent du mortier pour obtenir tous les éléments de ce dernier. Il n'est alors plus nécessaire de passer par la composition théorique du béton; on obtient directement sa composition pratique.

Par cette méthode on obtient, pour un dosage en ciment donné, les proportions de gravier et de sable et le dosage en eau.

En général, cette méthode est d'ailleurs utilisée d'une façon un peu simplifiée, en se donnant à l'avance le dosage en eau. Cela provient du fait que les entrepreneurs, et même plusieurs ingénieurs, désirent employer la quantité d'eau maximum à laquelle le Cahier des charges leur donne droit. Ce dosage maximum en eau a été fixé d'une façon empirique à : $E = 45 + 0,23 C$ (en kg) par les circulaires techniques ministérielles, qui régissent actuellement la construction des routes et des pistes d'envol en béton. Il est en effet prudent, si l'on n'est pas absolument sûr de la puissance de ses engins de chantier, d'utiliser le dosage en eau maximum, car si le dosage en eau du béton est trop élevé, ce ne sera que faible mal puisque, nous l'avons vu, la résistance à la traction du béton ne croît que proportionnellement à $\frac{C}{E + V}$. Par contre, si le dosage en eau est trop faible, la maniabilité du béton diminue brutalement; des cavernes peuvent s'y créer, faisant tomber la compacité ainsi que les primes très élevées prévues par le Cahier des charges.

Il est aussi une autre raison à cette façon de faire des entreprises, c'est que la compacité type à laquelle sera comparée, dans les essais de contrôle, la compacité réelle du béton exécuté est calculée en fonction de la teneur en eau des essais de laboratoire. Aussi ont-elles intérêt à forcer au maximum ce dosage en eau dans ces essais; quitte, sur le chantier, à utiliser un dosage en eau plus faible, d'où augmentation de la compacité réelle du béton, et augmentation des primes. Je ne crois pas qu'en général le mal qui puisse en résulter soit bien grand, car la formule $E = 45 + 0,23 C$ a été calculée, au plus juste, et depuis 4 ans qu'elle est réellement appliquée, l'expérience a montré qu'elle était parfaitement justifiée. J'estime même que l'on est actuellement assez sûr de cette formule, pour pouvoir en quelque sorte l'ériger en principe. Les Cahiers des charges pourraient prévoir que les essais préliminaires de laboratoire seraient faits avec la quantité d'eau prévue par cette formule, en laissant à l'entrepreneur le libre choix de son dosage en eau sur le chantier. Les primes et pénalités très fortes prévues par le Cahier des charges sont suffisantes, à mon avis, pour inciter les entrepreneurs sérieux à s'équiper en matériel de vibration puissant et à réduire au minimum le dosage en eau de leur béton sur chantier.

Toutefois, dans le cas d'ouvrages importants et étudiés avec soin, les ingénieurs auraient intérêt à faire mesurer le dosage en eau optimum. Il est un autre cas, où cette mesure s'impose, c'est lorsque l'on doit utiliser un plastifiant; nous examinerons plus loin ce cas à propos des entraîneurs d'air.

Si l'on connaît à priori le dosage en eau du béton, donc celui du mortier puisque l'eau de mouillage des pierres a été déterminée, la méthode Vallette se simplifie

un peu. On connaît en effet presque tous les éléments du mortier : dosage en ciment, dosage en eau, et volume apparent puisque ce dernier est égal au volume des vides du gravier. Il suffit alors, dans le récipient vibré, de placer le ciment et l'eau et d'ajouter progressivement le sable jusqu'à ce que le mortier atteigne le volume apparent désiré.

VII. — Résultats.

Nous avons déjà indiqué que les bétons étudiés selon la méthode ci-dessus donnaient des résistances à la traction élevées. Examinons ces résultats de plus près.

Les Cahiers des charges français exigent très généralement une résistance à la traction par flexion de 45 kg/cm² à 28 jours. Il s'agit de la résistance à la traction par flexion calculée selon la formule de la résistance des matériaux :

$$N = \frac{6M}{ah^2}$$

On sait que plusieurs auteurs ont indiqué que la résistance vraie à la traction du béton, n'était qu'une fraction de la résistance ainsi mesurée dans l'essai de flexion. Cette fraction serait de l'ordre de 60 %. Mais il n'en est généralement pas tenu compte dans l'étude des bétons routiers, car d'une part la valeur de cette fraction n'est pas exactement connue, d'autre part c'est principalement à la flexion que travaillent les revêtements rigides routiers.

Le Cahier des charges parle de la résistance à 28 jours, mais indique que l'on peut se contenter des essais à 7 jours s'ils donnent des résultats supérieurs aux 80/100 de 45 kg/cm² soit 36 kg/cm². Cet accroissement de 80 à 100, entre 7 et 28 jours avait été fixé, par analogie avec ce qui se passe pour la résistance à la compression. Or depuis 4 ans que ces essais sont effectués régulièrement au *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*, on a observé que cette règle n'était nullement satisfaite. En moyenne l'accroissement de la résistance à la traction entre 7 et 28 jours n'est que de 5 %. Souvent même il y a chute de résistance entre ces deux dates. Et de toutes façons la résistance à la flexion n'augmente plus que faiblement avec l'âge.

A notre avis, la cause de ceci doit être recherchée dans une microfissuration superficielle qui se produit sur le béton conservé à l'air à 50 ou 60 % d'humidité, c'est-à-dire actuellement dans les conditions des salles de conservation du *Laboratoire des Ponts et Chaussées*. Ces microfissures amorceraient la rupture. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons conservé certaines éprouvettes dans l'eau. Nous avons trouvé que la résistance à la flexion augmentait avec l'âge, de la même façon que la résistance à la compression, notamment la règle des 80/100 entre 7 et 28 jours est bien vérifiée. Pour les éprouvettes conservées dans l'eau, la résistance à 7 jours est à peu près la même que pour celles conservées à l'air; mais à 28 jours, la différence est déjà de 15 à 20 %. Il semble d'ailleurs que la résistance à 7 jours soit environ la moitié de la résistance finale à un âge avancé : 1 an par exemple. Aussi la résistance à la flexion d'une piste en béton devrait-elle être de 75 kg/cm² environ. C'est bien ce que l'on a constaté, d'une part dans les essais de rupture de dalles réelles chargées, d'autre part dans les essais de laboratoires effectués sur éprouvettes découpées dans des dalles réelles. Il semble donc que les dalles réelles qui sont en contact avec le sol dont elles pompent

l'humidité, et qui sont aussi protégées contre la dessiccation par leur masse, ne soient pas sujettes à la microfissuration superficielle. J'estime alors que le processus des essais de flexion des bétons routiers devrait être modifié et prévoir la conservation des éprouvettes dans l'eau, ou dans une salle saturée d'humidité. Par contre j'estime aussi que grâce à ce perfectionnement, grâce aussi aux améliorations sensibles qu'ont reçues et que recevront dans les années qui viennent les bétons routiers, il serait très souhaitable de porter à 50 kg/cm² la résistance minimum à la flexion imposée à 28 jours. Je pense même qu'il est à la portée de tout entrepreneur sérieux, moyennant un choix judicieux de l'agrégat et du ciment, de dépasser 60 kg/cm² à 28 jours sur éprouvettes immergées.

Il y a lieu de remarquer que ces résistances sont plus fortes que celles imposées à l'étranger qui se situent en moyenne autour de 40 kg/cm² ainsi qu'il résulte des rapports présentés à Lisbonne. Mais je pense que la première conclusion à en tirer est que les bétons routiers français sont d'une qualité supérieure à celle des bétons routiers étrangers.

Je ferai une remarque en passant : c'est que la résistance à la flexion des éprouvettes immergées dans l'eau constitue un maximum de la résistance à la flexion, par rapport aux autres modes de conservation. C'est pour ce maximum que l'on vérifie la formule déjà indiquée :

$$T = K \frac{C}{C + E + V}$$

C'est donc là le sens des réserves qui avaient alors été faites.

VIII. — Augmentation de cette résistance.

Comment l'ingénieur pourrait-il faire pour accroître encore la résistance à la flexion de son béton ?

Son premier réflexe est d'augmenter le dosage en ciment; mais là une surprise l'attend. Alors que la résistance à la compression d'un béton est une fonction croissante du dosage en ciment, tout au moins dans les limites habituelles de ce dernier, il n'en est pas de même de la résistance à la flexion qui passe nettement par un maximum pour un dosage voisin de 350 kg.

D'où provient ce maximum ? L'hypothèse la plus plausible est qu'elle provient de la microfissuration superficielle dont il était question plus haut, celle-ci étant d'autant plus importante que le dosage en ciment est plus fort. Ce phénomène est aggravé d'ailleurs par l'effet de paroi de M. CAQUOT, qui accumule le mortier en surface. Il semble bien que cette hypothèse soit en partie exacte, mais en partie seulement, car pour les éprouvettes conservées dans l'eau il apparaît que ce maximum existe aussi, mais pour un dosage supérieur à 350 kg. Des essais vont être entrepris pour préciser ce point qui n'est pas encore bien net. Je crois qu'il peut s'expliquer en se reportant à la théorie microscopique du béton précitée par le fait que lorsque l'on force le dosage en ciment, pour conserver la même compacité on est obligé de réduire le dosage en sable et même en gravier. On réduit alors le nombre de points de contact intergranulaires et l'on remplace les liaisons directes entre grains par filaments cristallins, par une liaison par enchevêtrement d'aiguilles qui, ainsi que nous l'avons indiqué plus haut, est plus faible que la première.

En résumé, l'augmentation du dosage, permettra peut-être d'augmenter quelque peu la résistance à la flexion d'éprouvettes immergées, mais cette augmentation ne sera jamais très élevée.

Quels sont alors les autres moyens dont dispose l'ingénieur à ce sujet ? L'un d'eux consisterait à charger le béton pendant sa prise ce qui accroît le nombre de contacts directs entre les grains en chassant les pellicules d'eau adsorbée. C'est bien ce que réalise indirectement le procédé du « vacuum concrete », dans lequel l'effet de la charge est remplacé par une traction des ménisques d'eau.

On peut aussi choisir le sable, l'agrégat et le type de ciment; on peut également faire appel à des produits spéciaux tels que les plastifiants et les entraîneurs d'air. Examinons séparément ces différents points :

Le sable doit avoir une granulométrie étalée pour être aussi plein que possible, mais il ne doit pas descendre au-dessous d'un certain minimum qui paraît être de l'ordre de 0,2 mm, sinon l'effet de la pellicule d'eau adsorbée qui écarte les grains accroît alors les vides du mortier. Par ailleurs ce sable doit être aussi peu calcaire que possible, car ces éléments calcaires, trop tendres, sont généralement les points faibles de la résistance à la flexion.

Le choix de l'agrégat a plus d'importance. D'après la théorie microscopique ci-dessus, on a intérêt à avoir les plus gros graviers possible. Mais il ne faut pas dépasser un certain diamètre maximum, fixé par l'effet de paroi, et qui semble être de l'ordre du 1/4 ou à la rigueur des 2/7 de l'épaisseur de la dalle. D'autre part des considérations de maniabilité interviennent qui limitent en fait à 40 ou 50 mm le diamètre maximum de l'agrégat s'il est concassé, ou à 50 à 60 mm s'il est roulé. Il est à noter d'ailleurs que les agrégats roulés donnent alors de meilleurs résultats, et les considérations de frottement interne plus élevé qui sont parfois mises en avant pour justifier l'emploi d'agrégat concassé ne sont pas justifiées dans un béton à liant rigide, comme le béton de ciment. Au contraire même, le frottement interne de l'agrégat intervient au moment de la mise en œuvre du béton et à ce moment il est nuisible puisqu'il gêne la bonne mise en place de tous les éléments du béton.

Par ailleurs, je crois que l'on a intérêt à étendre au maximum vers le bas la granulométrie des pierres, mais sans dépasser la limite inférieure fixée par la règle de M. VALLETTE sur la définition d'une granulométrie discontinue : rapport minimum de 7 entre le diamètre minimum du gravier et le diamètre maximum du sable. Finalement, on est conduit pratiquement à des granulométries de la forme suivante :

Pour les concassés : gravier 20/40 et sable 0,2/3 mm.
Pour les roulés : gravier 30/60 ou 20/50 et sable 0,2/5 ou 0,2/3.

En ce qui concerne la forme de l'agrégat, j'avais pensé tout d'abord que la forme cubique était la meilleure puisqu'elle se met bien en place. Mais l'expérience a infirmé ces prévisions. Il semble que les plaquettes et les aiguilles se disposent à plat dans le béton et réalisent ainsi une couture efficace dans le sens horizontal, le seul qui intéresse la flexion des dalles. Et des bétons routiers exécutés avec un agrégat dur, à très forte proportion de plaquettes, ont donné des résultats qui m'ont surpris par leur valeur élevée. Finalement il semble donc qu'il ne faille pas être exigeant sur la forme; au contraire, les formes allongées paraissent souvent préférables.

Le choix du ciment est important. On utilise en général des Portland ou des ciments de fer 250/315. Les ciments

de laitier présentent l'intérêt d'avoir une forte résistance à la traction. Notamment on peut très bien, et certains ingénieurs le font aux périodes de pénurie de ciment, utiliser des ciments de laitier 160/250, qui à 28 jours ont à peu près la même résistance à la traction que les Portland 250/315.

D'une façon générale d'ailleurs les ciments paraissent avoir une résistance à la traction d'autant plus forte que leur teneur en chaux libre est plus faible. Peut-être les cimentiers pourraient-ils dans l'avenir mettre au point des ciments spéciaux à haute résistance à la traction, ce qui serait un appoint considérable pour le développement des revêtements en béton. Et je ferai remarquer que si l'amélioration de la qualité des ciments au point de vue de la résistance à la compression ne présente qu'un intérêt assez faible, puisqu'il suffit d'augmenter le dosage pour accroître cette résistance, il n'en est pas du tout de même de la résistance à la flexion, par suite de l'existence de ce maximum ainsi que je l'ai indiqué plus haut.

La résistance à la traction des ciments avait été un peu perdue de vue depuis que l'AFNOR avait limité aux seuls essais de compression les essais de réception des ciments. Pour le développement des bétons routiers, il serait bon que cette notion fut reprise, et que les fabricants de ciment cherchent à améliorer la résistance à la traction de leurs produits.

Un autre procédé pour améliorer la résistance à la flexion des bétons consisterait à employer des plastifiants. Ceux-ci permettraient de réduire sensiblement le dosage en eau sur chantier, pour une même maniabilité, d'où une augmentation de la compacité, c'est-à-dire du $\frac{C}{E + V}$. Ce procédé, simple et peu coûteux est efficace; et il est même curieux que les entrepreneurs ne l'emploient pas plus souvent, car il en résulterait une majoration sensible de leurs primes pour compacité, sans d'ailleurs que l'Administration soit en rien lésée, car elle aurait un béton de qualité supérieure ce qui est le souci principal de l'ingénieur routier. Peut-être ce procédé se généraliserait-il, si était érigé en principe, comme nous l'avons déjà proposé plus haut, l'emploi de la teneur en eau $E = 45 + 0,23 C$ dans tous les essais dits « préliminaires » de laboratoire.

IX. — Entraîneurs d'air.

Par contre ceci n'est plus applicable au cas des entraîneurs d'air. Les formules des Cahiers des charges sont entièrement faussées lorsque l'on emploie un entraîneur d'air dans le béton; il faut dire, d'ailleurs, à la décharge des commissions qui ont étudié les Cahiers des charges types, qu'il n'était pas question alors des entraîneurs d'air.

La question est importante et mérite d'être examinée de plus près.

On sait que la résistance à la compression et la résistance à la flexion sont bien moins diminuées par l'air entraîné que ne l'indiqueraient les formules faisant intervenir $\frac{C}{E + V}$. Je crois que l'on peut en donner l'explication suivante :

Dans les bétons à air entraîné, l'air se trouve divisé en un nombre considérable de bulles microscopiques, dont la taille est bien inférieure à celle des plus petits grains de sable. Ces bulles sont enrobées d'une couche monomoléculaire d'entraîneur d'air qui les isole de l'extérieur. Elles sont d'ailleurs soumises, du fait de la

tension superficielle et de leur grande courbure, à des compressions considérables, si bien qu'il faut les considérer comme des sortes de ballons très gonflés et très rigides, mais réduits à l'échelle microscopique.

Il ne semble pas que ces bulles d'air adhèrent ni aux grains de sable, ni aux aiguilles de ciment, et elles ne sont maintenues en place pendant l'exécution du béton que par la lenteur avec laquelle elles remontent dans les liquides, selon la loi de Stokes. Ces bulles d'air se placent alors au milieu des zones intergranulaires du mortier, laissant libre le voisinage des points de contact ou de pseudo contact intergranulaires.

Si ces bulles étaient disposées au hasard dans le béton, la loi des grands nombres jouerait, et la résistance à la traction diminuerait selon la loi du $\frac{C}{E + V}$ précitée. Mais heureusement ces bulles se placent dans les zones où elles sont le moins nuisibles à la résistance à la flexion; en effet, dans la zone centrale des espaces intergranulaires, le ciment y résiste seulement grâce au feutrage des aiguilles. Par contre les zones « nobles » de la résistance à la traction, les points de contact ou de pseudo contact, ne sont pas touchées par l'air entraîné. Bien au contraire, les aiguilles s'y trouvent concentrées. Si bien que la résistance à la traction ne s'en trouve pas diminuée.

Certains expérimentateurs ont même prétendu que la résistance à la traction d'un béton était augmentée par l'entraîneur d'air. Je ne le crois pas. Plus exactement, je pense que la résistance à la traction est augmentée par rapport aux éprouvettes témoins conservées dans l'air, par suite de l'effet imperméabilisant des bulles d'air entraîné; mais je ne pense pas qu'il y ait augmentation par rapport aux éprouvettes conservées dans l'eau.

Par ailleurs, l'air entraîné améliore sensiblement les qualités du béton routier quant à son imperméabilité, sa vitesse d'élimination de l'eau sous les climats secs, la résistance au gel et l'élasticité. Comme il ne diminue que très peu ou peut être même pas du tout la résistance à la flexion, il paraît indiqué d'en employer.

Les ingénieurs sont toutefois freinés dans cette voie par la formule du Cahier des charges. Dans cette formule l'air entraîné est considéré comme vide nuisible et il en résulte une pénalité grave pour l'entrepreneur. Une solution consisterait à comparer la compacité des carottes de contrôle à la compacité d'un béton type de bonne qualité confectionné en laboratoire avec le même entraîneur d'air. Mais ceci soulève des difficultés :

D'une part, il faut que le laboratoire soit parfaitement équipé et dispose notamment d'engins de vibration aussi puissants que le chantier, ce qui n'est pas commode.

D'autre part, l'entreprise a beaucoup trop intérêt à employer sur le chantier une dose plus faible d'entraîneur d'air ou à ne pas en employer du tout. Car non seulement elle économise l'entraîneur d'air qu'elle n'a pas mis, mais en outre elle reçoit une prime supplémentaire de compacité.

Je crois donc que le Cahier des charges doit être revu en ce qui concerne les bétons à air entraîné.

X. — Gel.

Puisque nous sommes dans les entraîneurs d'air, je crois utile de vous dire quelques mots sur la résistance des bétons routiers au gel, et surtout sur la façon d'exécuter des bétons routiers par temps froid.

Nous n'avons que peu d'expérience en France sur la résistance au gel des bétons routiers à air entraîné. Il y a eu par contre de nombreux essais faits par l'Électricité de France sur les entraîneurs d'air. De plus, la littérature technique américaine et canadienne est abondante à ce sujet.

Il semble en résulter que l'on aurait intérêt à utiliser des entraîneurs d'air, dans les quatre ou cinq départements du nord-est de la France; mais non ailleurs.

Par contre les entraîneurs d'air sont particulièrement précieux pour permettre de continuer à bétonner par temps de gel. M. DURIEZ a fait récemment au *Laboratoire des Ponts et Chaussées* des études et des essais particulièrement intéressants à ce sujet. Il en a conclu que la solution consistait à incorporer au béton au moment de sa fabrication du chlorure de calcium et de l'entraîneur d'air. Le chlorure de calcium a surtout pour effet d'activer la prise du ciment, d'où des réactions exothermiques qui accélèrent le durcissement et maintiennent une certaine température dans le béton. Le rôle de l'air entraîné est tout autre; il sert surtout à imperméabiliser le béton et à « encaisser » les dilatations des aiguilles de glace. En somme l'air entraîné sert à empêcher les effets néfastes du gel dans le béton.

Bien entendu, chlorure de calcium et air entraîné doivent être judicieusement dosés, en fonction du climat, de la nature et du dosage du ciment. Et même, il arrive trop souvent que des entraîneurs d'air contiennent déjà du chlorure de calcium. Il faut en tenir compte, quand on ajoute du chlorure de calcium, sinon l'on risque d'avoir des retraits de béton considérables.

XI. — Contrôle des bétons routiers.

Il nous reste encore une question à examiner. Celle du contrôle des bétons routiers. Vous savez que ce contrôle s'effectue actuellement en découpant des carottes de 24 cm de diamètre et en les envoyant dans des laboratoires spécialisés qui les soumettent à des essais très délicats, imaginés, il y a plus de 20 ans, par les services des Ponts et Chaussées du département du Nord.

Le premier essai consiste à mesurer l'épaisseur de la carotte, d'où l'on déduira l'épaisseur du revêtement, donc le prix à payer à l'entreprise. Par définition cette épaisseur est la moyenne des épaisseurs mesurées en sept points qui sont le centre et les sommets d'un hexagone régulier, axé sur la carotte et convenablement orienté. Au *Laboratoire des Ponts et Chaussées*, cette mesure est faite à l'aide d'un appareil quasi automatique donnant avec fidélité une précision de l'ordre du demi-millimètre.

Pour vous convaincre de la nécessité d'une grande précision dans cette mesure, je vais vous faire un petit calcul simpliste. Considérons une piste de 30 cm d'épaisseur, coûtant 300 millions, et sur laquelle on a prélevé vingt cinq carottes. Si les mesures sur chaque carotte sont faites au 5/10 mm près, la précision totale moyenne sera :

$$\frac{0,5}{\sqrt{25}} = 0,1 \text{ mm.}$$

D'où une différence de prix de la piste de :

$$\frac{300\ 000\ 000}{300} \times 0,1 = 100\ 000.$$

A propos de cette mesure de l'épaisseur du béton, je vous signale combien les dalles de béton confectionnées sur mince couche de sable recouverte de papier Kraft, conduisent à des surfaces inférieures de béton irrégulières. La mesure de la hauteur en est alors plus compliquée; ce n'est que demi-mal. Ce qui est grave, c'est que la résistance à la flexion du béton, dont la rupture s'amorce justement sur cette face inférieure en est généralement réduite très sensiblement. Pour y remédier, il faudrait, à notre avis, renoncer à la technique traditionnelle et réglementaire du papier Kraft sur lit de sable, pour employer une fondation plus rigide. Par exemple, on pourrait utiliser des tapis bitumineux très minces, non gravillonnés évidemment, posés sur des fondations en sol naturel ou amélioré. Ce procédé aurait le triple intérêt, de permettre d'obtenir une surface inférieure du béton très régulière, d'empêcher l'eau du béton d'être bue par le papier Kraft et le sable de fondation, et de constituer une surface rigide de réflexion des ondes de vibration. Notamment, ce procédé est indispensable pour tirer des machines de vibration du béton dans la masse, qui ont récemment vu le jour en France, tout le parti important que l'on peut en tirer.

Le second essai de contrôle effectué en laboratoire est la mesure de la compacité, ou, ce qui revient au même, de la densité sèche du béton. Il est, en effet, naturel que la qualité du béton se mesure par la compacité, puisque toutes les autres caractéristiques ont été fixées à la suite des essais préliminaires de laboratoire, et que l'entrepreneur ne peut plus agir que sur la compacité. Les carottes à étudier sont alors desséchées à l'étuve jusqu'à poids constant, ce que l'on vérifie par de très nombreuses mesures espacées de 48 heures au moins.

Le volume est mesuré à la balance hydrostatique, en obturant tout d'abord les cavernes du béton avec du mastic puis en trempant la carotte dans de la paraffine à peine fondue. Les calculs sont menés de telle façon, que le volume du mastic intervienne dans le volume du béton, alors que la paraffine n'intervient pas.

L'essai est très simple en théorie, mais plus compliqué en pratique, comme d'ailleurs tous les essais où une précision supérieure au millième est demandée. Notamment, la paraffine, brusquement refroidie, se fissure et laisse lentement passer l'eau. Je n'insisterai pas sur les multiples et minutieuses précautions à prendre au cours de cet essai.

J'indiquerai toutefois une nouvelle méthode due à M. ANU, qui paraît plus simple que la précédente et qui est actuellement en cours d'expérimentation au *Laboratoire des Ponts et Chaussées*. Elle consiste à ne pas enduire la carotte de paraffine, et à la tremper directement dans l'eau. Au bout de quelques heures la carotte a absorbé son maximum d'eau, ou tout au moins la vitesse d'absorption de l'eau est devenue négligeable vis-à-vis de la durée de l'essai. On pèse alors la carotte dans l'eau, puis immédiatement après, à l'air, après un égouttage sommaire. Les premiers essais, faits sur des éprouvettes de volume connu, sont très encourageants.

La précision du millième est exigée pour ces essais, car les primes et les pénalités varient par millième de la compacité. Elle est difficile à obtenir. De plus, l'extraction des carottes est coûteuse; aussi est-il recherché

actuellement de substituer à ces essais d'autres essais de contrôle. Mais rien de satisfaisant n'a encore été proposé à cet égard.

Une première méthode consisterait à effectuer (comme cela se fait dans de nombreux pays d'Outre-Atlantique) des essais de compression sur les carottes. Mais les résultats en sont très dispersés, de plus, l'essai n'a pas grande signification, car la résistance à la compression peut être indépendante de la qualité de la face inférieure du béton, dont dépend la résistance à la flexion. Quant à découper des prismes dans le béton des pistes, il ne faut pas y songer, ce serait trop coûteux.

Une autre solution est recherchée dans l'emploi des ultra-sons. Dans un avenir assez lointain, il en sera peut-être ainsi; mais pour le moment la dispersion de cet essai, pas très importante intrinsèquement, est encore beaucoup trop grande pour pouvoir servir de base à un règlement financier de travaux. De plus, comme toutes les autres méthodes, elle fait intervenir la qualité du béton dans sa masse, et non pas en surface comme la résistance à la flexion.

Une troisième voie dans laquelle se poursuivent des recherches est la mesure *in situ* du coefficient d'élasticité des bétons à la flexion. Cette mesure s'effectuerait en mesurant la flèche de la dalle pour une charge relativement faible, et pourrait alors être faite rapidement et économiquement.

Toutefois, il ne s'agit encore là que de recherches et force est pour le moment de s'en tenir à la méthode satisfaisante, mais coûteuse du département du Nord,

XII. — Conclusions.

Que conclure de tout ceci ?

Tout d'abord que, contrairement à une opinion assez répandue, la technique des bétons routiers est bien loin d'être figée dans des normes intangibles. Elle évolue et s'améliore constamment.

D'autre part, bien des ingénieurs négligent par trop de pousser la qualité de leur béton routier par des études de laboratoires approfondies et une surveillance minutieuse du chantier. Ils devraient pourtant bien considérer qu'il existe une sorte de seuil de la qualité au-dessous duquel la résistance à la flexion ne diminue que faiblement, tandis qu'au-dessus de ce seuil la résistance à la flexion s'accroît brusquement. Il est difficile d'atteindre ce seuil, mais il faut néanmoins s'efforcer de le dépasser car alors les efforts deviennent rentables.

Par contre, il est rassurant de constater que les machines les plus perfectionnées pour mettre en place le béton routier sont des machines françaises. D'ailleurs il résultait nettement des rapports présentés au dernier congrès de Lisbonne, que la France était loin d'être en retard sur les autres pays dans la technique des bétons routiers. Il faut nous efforcer de conserver cette avance.

Les bétons routiers, ainsi que j'espère vous l'avoir montré au cours de cette conférence, sont encore susceptibles de bien d'autres améliorations. Nous devons nous efforcer de les réaliser rapidement. Ce sera le premier pas dans la voie de la réhabilitation des revêtements rigides.

DISCUSSION

LE PRÉSIDENT. — Quelqu'un a-t-il des explications complémentaires à demander à M. PELTIER ?

M. J. MASSON. — J'ai entendu avec beaucoup d'intérêt toute la conférence de M. PELTIER. Je voudrais faire une observation en ce qui concerne la granulométrie des agrégats pour bétons. Vous avez dit, M. PELTIER, que les agrégats en plaquettes donnaient, contrairement à ce qu'on en attendait — et cependant c'est assez logique tout de même — des résistances à la traction supérieures aux autres. Je pense que puisqu'il y a une Commission du Cahier des charges, elle pourrait se saisir de la question, car pour le moment le Cahier des charges indique les formules types adoptées qui sont les mêmes pour les bétons bitumineux et pour les bétons ordinaires. Il y aurait peut-être lieu de revoir la question, étant donné la découverte importante que vous nous signalez.

M. PELTIER. — Il est assez naturel de penser cela. Lorsqu'on a une dalle en béton, les plaquettes se disposent à plat de telle façon qu'elles forment une couture entre les deux parties et augmentent la résistance à la flexion.

LE PRÉSIDENT. — M. DE L'HORTET voudra bien saisir de la question M. BONENFANT.

Personne ne demande plus la parole. Permettez-moi de m'étonner car le sujet est ample et pourrait susciter un certain nombre d'observations de la part de ceux qui ont entendu l'exposé magistral de M. PELTIER sur les conditions dans lesquelles le béton travaille à la compression, ce qui correspond à ses qualités, mais beaucoup aussi à la traction, pour laquelle sa résistance est faible, et c'est par la traction qu'il périclité.

Je considère que la conférence de M. PELTIER justifierait un long débat, et puisque personne ne paraît disposé à l'ouvrir, je voudrais vous expliciter quelques réflexions que j'ai faites au cours de son exposé. Mais comme je ne veux pas abuser de votre temps, j'insisterai seulement sur trois ou quatre.

D'abord en ce qui concerne la technique de construction des routes en béton armé, il n'est pas exact que, dans le monde, à l'heure actuelle, on s'oriente partout vers des routes en béton à l'exclusion du béton armé. Les Américains s'orientent au contraire de plus en plus vers la route en béton armé et aux dires mêmes de M. Mc DONALD qui me l'a affirmé il y a quelques mois, ils ne feraient que des routes en béton armé s'ils n'étaient tenus par la terrible pénurie d'acier dont ils souffrent actuellement, car la crise est aussi grave en Amérique qu'en France et des délais de 6 mois ne sont pas rares pour les livraisons. Faute de mieux les Américains se sont donc contentés du béton ordinaire, mais s'ils en avaient la possibilité, ils feraient dans tous les cas des routes en béton armé, pas très armé d'ailleurs, ils en ont donné le dosage, qu'il serait assez facile de retrouver.

En ce qui concerne les autres points, je voudrais faire à M. PELTIER, non point des critiques, mais des observations, qui sont d'ailleurs très naturelles et qui tiennent du fait qu'il a examiné le problème beaucoup plus en homme de laboratoire qu'en homme de la route. Il est normal que sur ces points nous ne nous rencontrions pas d'une façon totale.

Quand il vous a parlé de maniabilité, il vous a parlé surtout des conditions dans lesquelles la maniabilité était nécessaire pour mettre en place des cailloux, du sable et du ciment, de façon à ce que les vides soient réduits au minimum. Mais la préoccupation de l'ingénieur routier est aussi de réaliser une surface lisse, et

chacun sait que cette surface lisse est difficile à obtenir, que nous nous sommes battus pendant de longues années sans arriver à des résultats réellement excellents. A ce point de vue les problèmes de maniabilité, et non plus seulement de dosage en eau, jouent un rôle important. On a fait de grands progrès le jour où on a supprimé les routes en deux couches. Il est plus facile de mettre en place des cailloux relativement petits par rapport à l'épaisseur à réaliser et l'expérience du Barber Greene nous a apporté un certain nombre de résultats intéressants à cet égard. Je supplie le laboratoire, quand il s'oriente vers des problèmes qui lui sont posés par des ingénieurs, de penser un peu aux résultats qu'on peut obtenir qui ne consistent pas seulement à avoir un excellent béton, mais aussi une surface parfaite. Alors que les routes à revêtement souple se réparent facilement, une route en béton est définitive. Je crois justement qu'il y a une espèce de compromis qu'il faut trouver entre le meilleur béton qu'il faut rechercher et la meilleure surface qu'il faut obtenir. Il y a là une interprétation des faits qui ne doit pas être faite uniquement tant par l'homme de laboratoire que par l'ingénieur de chantier; elle doit faire l'objet de contrats entre eux et d'essais raisonnés, non seulement en chambre mais aussi sur place de façon à obtenir le meilleur résultat. Nous avons vu des bétons bitumineux étudiés par le laboratoire, et sans doute excellents au point de vue intrinsèque, que le Barber Greene ne pouvait pas mettre en place convenablement et qui donnaient de piètres résultats. C'étaient les meilleurs dosages qu'on avait pu obtenir au point de vue résistance, mais la machine se refusait à les gérer.

Ici, c'est un peu le même problème. M. PELTIER a parlé des différences de hauteur que l'on obtient avec l'utilisation du papier kraft. Je crois qu'il aurait pu insister sur le fait que les irrégularités que l'on obtient même avec du papier kraft sont extrêmement graves pour des bétons, car elles ont comme conséquence d'augmenter considérablement le coefficient de frottement de la dalle sur le sol, de créer des points d'arrêt qui s'opposent aux mouvements de celle-ci. Comme on sait que la dalle se dilate, ces mouvements sont gênés lorsque le béton ne repose pas sur une dalle qui donne le minimum de coefficient de frottement. Dans quelle mesure une sous-couche même unie obtenue à l'aide de liants plastiques donnera-t-elle un plus faible coefficient de frottement ? Je n'en sais rien. Si l'on supposait que le coefficient de frottement était grand, on risquerait d'avoir par les rétractions de refroidissement des efforts de traction considérables qui pourraient être extrêmement graves pour la conservation.

Je terminerai en donnant tout à fait mon accord à ce que nous a dit M. PELTIER : c'est par la traction que meurent nos bétons, il suffit de voir les fissures que l'on trouve partout sur les routes pour constater que c'est le retrait, l'effort de traction qui fait périr nos routes, soit que les efforts de traction résultent de ce que l'ensemble de la dalle travaille à la traction, soit d'une flexion provenant de ce que le sous-sol n'a pas une homogénéité suffisante et n'apporte pas à la dalle une réaction verticale uniformément répartie. Dans ce dernier cas la dalle travaille comme un ouvrage d'art et c'est le poids du véhicule et non plus la pression de pneu qui intervient.

Il faut travailler pour définir et réaliser les meilleurs bétons qui puissent résister à la traction et c'est ce que M. PELTIER nous a magnifiquement exposé. Mais ce n'est qu'un côté de la question. Il faut chercher également le moyen de faire travailler le moins possible nos bétons à la traction et c'est un sujet sur lequel je voudrais voir se pencher quelques-uns de ceux qui s'intéressent à la route en béton.

Série : ÉQUIPEMENT TECHNIQUE (XXX).

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 29 MAI 1952

SOUS LA PRÉSIDENTENCE DE M. A. MISSENARD.

ÉTUDES ET RECHERCHES FRANÇAISES

Quelques travaux récents du C. S. T. B.
en matière d'équipement de chauffage dans les habitations.

Par M. A. FOURNOL, Ingénieur diplômé de l'École Polytechnique, Ingénieur en chef au C. S. T. B.

Études et recherches 1951 du Comité Scientifique et Technique
de l'Industrie du chauffage et de la ventilation.

Les dispositifs de sûreté hydrauliques
en chauffage à vapeur basse-pression.

Par M. R. CADIERGUES, Directeur du Comité scientifique et technique de l'Industrie du chauffage et de la ventilation.

Mesure de la ventilation par traceurs radioactifs.

Par MM. Ch. FISCHER et P. LEVEQUE,
Ingénieurs du Commissariat à l'Énergie Atomique. Services de Chimie appliquée et de Chimie-Physique.

Les recherches thermiques aux Laboratoires du Bâtiment
et des Travaux Publics.

Par M. A. BLANC, Chef des Sections Thermique et Physique aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics.

JOURNÉES INTERNATIONALES DE CHAUFFAGE, VENTILATION, CONDITIONNEMENT DE L'AIR
27-28-29 mai 1952

ÉTUDES ET RECHERCHES FRANÇAISES

Quelques travaux récents du C. S. T. B. en matière d'équipement de chauffage dans les habitations.

La première partie de l'exposé porte sur les essais de Melun, commencés le 20 janvier et qui ont été poursuivis pendant 80 jours. Les premiers dépouillements montrent le degré élevé de confort réclamé par les usagers, l'identité des températures dans les locaux chauffés normalement et les locaux témoins chauffés électriquement, la grande constance des températures intérieures, le rendement satisfaisant de l'ensemble, la réduction raisonnable des gaspillages.

La deuxième partie porte sur les conduits de fumée unitaires Shunt. Après un exposé général sur le système, l'auteur rend compte des essais du C. S. T. B. à Toulon et d'une enquête en Belgique. La conclusion souligne l'intérêt économique du système et l'importance du problème.

The first part of the account deals with the Melun tests, begun 20 January and which lasted 80 days. The first evaluations show the high degree of comfort exacted by the consumers, the identity of temperatures in the premises heated normally and those heated electrically chosen for comparison, the great constancy of interior temperatures, the satisfactory overall efficiency, the reasonable waste reduction.

The second part deals with unit Shunt smoke conduits. After a general description of the system, the author describes the C. S. T. B. tests at Toulon and in Belgium. The conclusion stresses the economic advantage of the system and the extent of the problem.

Études et recherches 1951 du Comité Scientifique et Technique de l'Industrie du chauffage et de la ventilation.

Les dispositifs de sûreté hydrauliques en chauffage à vapeur basse-pression.

Après quelques détails sur le C. O. S. T. I. C., l'auteur donne des indications complémentaires sur certaines études ayant déjà fait l'objet de publications (coefficients de rayonnement des matériaux, thermomètre à température résultante, protection contre le gel en chauffage à eau chaude et déneigement thermique, calcul pratique des puissances en chauffage discontinu, conductibilités thermiques des matériaux, problèmes acoustiques en chauffage et conditionnement d'air), ainsi que sur certaines en cours (ventilation naturelle, perméabilité à l'air et aux gaz des matériaux et structures, produits et procédés antitartre et détartrants).

La dernière partie est consacrée au compte rendu d'une étude sur les dispositifs de sûreté hydrauliques en chauffage à vapeur basse pression. Après avoir énuméré les sources de l'étude, et l'évolution des dispositifs de sûreté, l'auteur en étudie chacun des détails et montre l'incertitude actuelle des raisonnements sur le fonctionnement du dispositif. Il fournit en outre le résultat d'une enquête sur le dispositif dit de la Ville de Paris, et complète son étude par quelques indications sur le dispositif à branches multiples.

After a few remarks on the C. O. S. T. I. C., the author gives some complementary indications on certain already published studies (radiation coefficients of materials, resulting temperature thermometer, practical calculation of the powers in discontinuous heating, thermal conductivity of materials, acoustic problems in heating and air conditioning), as well as on certain other current studies (natural ventilation, air and gas permeability of materials and structures, anti-tartar and de-tartar products and processes).

The last part deals with the account of a study on hydraulic safety devices in low-pressure steam heating. After enumerating the sources for the study, and presenting the evolution of safety devices, the author studies them in detail and shows the present theoretical uncertainty in regard to their operation. In addition, he gives the results of an enquiry made on the device, by the City of Paris, and ends his study by some indications on the multiple-branch device.

Mesure de la ventilation par traceurs radioactifs.

Les auteurs expliquent les raisons du choix du xénon comme traceur, son mode de préparation, et son utilisation pour la mesure du taux de renouvellement d'air qu'ils ont mise au point avec M. CADIERGUES. Ils indiquent que des essais analogues ont eu lieu en Angleterre.

The authors explain the reasons for their choice of xenon as tracer, the ways of its preparation and use to measure the rate of air renewal which they have developed with M. CADIERGUES. They indicate that similar studies have been made in England.

Les recherches thermiques aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics.

L'auteur examine les études effectuées en 1951 : perfectionnement de la mesure de conductibilité thermique et du coefficient de transmission de chaleur, mise au point d'une méthode de mesure de la chaleur spécifique et résultats obtenus (comparaison avec les résultats publiés par d'autres auteurs), réalisation d'un thermomètre résultant enregistreur à inertie réduite (basé sur la mesure amplifiée de résistance d'un fil de platine).

The author examines the studies made in 1951; improvement of the measurement of thermal conductivity and of coefficient of heat transmission, developed from a method of measuring specific heat, and the results obtained (comparison with results published by other authors); creation of a result-recording thermometer with reduced inertia (based on the amplified measuring of the resistance of a platinum wire).

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

ALLOCUTION DU PRÉSIDENT

Messieurs, nous avons à nous occuper ce matin des études et recherches françaises.

C'est là, certes, un sujet moins passionnant ou plutôt moins pratique que celui du rayonnement, et je suis heureux, malgré tout, de voir cette salle bien remplie. En paraphrasant un lapsus de notre jeune ami Bernard TUNZINI, je pourrais dire que c'est moins le sujet qui a attiré les assistants que la qualité des conférenciers !...

La première communication est faite par M. FOURNOL, Ingénieur en Chef au C. S. T. B. Selon la formule consacrée, je n'ai plus à vous présenter M. FOURNOL, dont vous connaissez les brillants débuts dans notre profession. Récemment initié à nos disciplines, M. FOURNOL, quoique jeune, en est déjà une des personnalités les plus en vue. Comme vous le savez, il dirige, au Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, des recherches concernant le chauffage, la ventilation et le conditionnement d'air.

QUELQUES TRAVAUX RÉCENTS DU C. S. T. B. EN MATIÈRE D'ÉQUIPEMENT DE CHAUFFAGE DANS LES HABITATIONS

par M. FOURNOL.

INTRODUCTION

Je ne consacrerai pas cet exposé à une revue générale des recherches que le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment a entreprises ou poursuivies au cours de l'année écoulée. Nous nous sommes efforcés de choisir les sujets d'études les plus intéressants pour la conception de la construction; et il nous est apparu que, dans le domaine thermique, deux problèmes surtout avaient des incidences essentielles, au point même que les solutions qu'on peut leur apporter peuvent affecter sérieusement les conceptions architecturales. L'un de ces problèmes concerne les installations de chauffage collectif qui constitueront l'équipement des immeubles d'habitation dits à loyer modéré, cette question étant plus particulière-

ment envisagée sous l'angle des nécessités et des charges de l'exploitation. M. le président FICHARD nous a dit hier combien cette question était capitale, car, d'une part, il faut prévoir un mode d'équipement économique et adapté aux besoins et aux possibilités des gens appelés à l'utiliser, et, d'autre part, il faut penser que, lorsqu'on équipe une maison, on le fait pour de longues années, car il est toujours difficile ensuite de revenir sur l'équipement. L'autre problème, c'est celui des conduits de fumée, problème crucial pour tous les immeubles de grande hauteur. C'est sur ces deux questions que je concentrerai ma conférence, qui comportera ainsi deux parties distinctes l'une de l'autre.

EXPÉRIENCES DE MELUN SUR LE CHAUFFAGE CENTRAL

Nos recherches sur les problèmes de l'exploitation... C'est des premiers résultats du chantier de Melun que je vais vous entretenir. Je ne reviendrai pas sur l'organisation de l'essai, auquel contribuent des organismes et services nationaux, tels que le M. R. U., les Charbonnages de France, le Comité Professionnel du Pétrole, des Constructeurs de matériel, que nous remercions pour leur aide et dont nous apprécions les concours très précieux. L'organisation technique a déjà été exposée, notamment à ces mêmes journées du chauffage l'année dernière. Je vous rappelle en un mot que nous avons, à Melun, quarante-huit logements qui sont les sujets de notre expérience. Les logements sont tous identiques et situés dans un même collectif. Six sont chauffés par des convecteurs électriques sur courant direct avec un thermostat d'ambiance pour faire une régulation indépendante dans chaque pièce. Les quarante-deux autres sont chauffés par un chauffage collectif : l'installation est une installation à eau chaude pulsée du type courant.

Les résultats que je vais indiquer n'ont rien de définitif : ils sont fragmentaires et nous sommes très loin d'avoir utilisé toutes les possibilités de l'expérimentation organisée. Ils sont le fruit d'un premier dépouillement.

C'est seulement le 15 janvier 1952 que l'expérience a été en place dans toutes ses parties. Jusque-là, les essais avaient un caractère trop préliminaire pour qu'il soit question d'en faire état avec précision. Ce qui suit a trait plus exactement, en général, à la période comprise entre le 20 janvier 1952 et le 2 mars 1952, qui a fait l'objet de nos travaux statistiques. Ces mêmes travaux, par contre, ne sont pas terminés pour la période du 2 mars au 10 avril, fin de la saison de chauffage.

Au cours de la période que nous considérerons (20 janvier-2 mars, soit 40 jours), la température extérieure a été, en moyenne, de $+2,5^{\circ}$ (elle a, en fait, varié de -5 à $+10$, mais toutes les moyennes quotidiennes sont comprises entre -2 et $+6$).

Premier point. — Températures intérieures.

Il aurait été préférable de caractériser les degrés de confort instantanés par les températures résultantes telles qu'elles ont été définies dans les travaux de M. MISSE-NARD plutôt que par les températures d'air, notion insuffisante d'un point de vue physiologique. Pour le moment, la mesure des températures résultantes à Melun se heurte à une difficulté primordiale, l'absence dans le commerce d'enregistreurs, et il en fallait beaucoup pour quarante-huit appartements. Comme tous les appartements sont identiques, je ne pense pas que la considération des températures d'air ait apporté aux résultats relatifs (ceux qui sont obtenus par des rapports ou des comparaisons) une erreur importante.

Les usagers, c'est un fait, ont réclamé un grand confort qui nous a conduits à leur fournir des températures particulièrement élevées. En règle générale, on peut dire que certains d'entre eux ne se déclaraient pas entièrement satisfaits si (exception faite de la période de nuit) la température de leur living-room tombait au-dessous de 18,5 ou 19 et celles de leurs chambres au-dessous de 17,5 à 18. Ces degrés de confort, surtout dans les chambres, sont peut-être supérieurs à la norme, mais il convient de se rappeler que beaucoup de chambres étaient occupées par des enfants, certains en bas âge, et c'est l'argument qui a été très souvent mis en avant pour justifier les températures de 18°. Des réclamations que nous recevions, nous avons retiré l'impression que la frontière à partir de laquelle l'occupant difficile (je ne parle pas de celui qui n'est jamais satisfait) se déclare content est de 18,5 ou de 19 plutôt que de 18°. De nombreux locataires, avec qui nous avons essayé de « raisonner » un peu l'expérience, nous ont répété assez souvent que « 18° était une température un peu juste » alors que 19° rallierait certainement au moins 90 % des suffrages.

En ce qui concerne les appartements à chauffage électrique, il est évident que leurs occupants ont pu les chauffer comme ils l'entendaient à tout instant puisqu'ils disposaient d'un thermostat d'ambiance par pièce et qu'ils réglaient à leur gré ce thermostat. Les divers occupants de ces appartements, au nombre de six, se sont conduits de manière diverse et même extrêmement différente, comme il ressort des chiffres ci-après :

La moyenne générale (aussi bien dans l'espace : il s'agit d'une moyenne pondérée entre les diverses pièces, living-room, cuisine, chambres, etc., que dans le temps, nuit comprise) a été pour ces appartements de 17,6°, chiffre qui peut étonner par son élévation. Mais cette moyenne était de 15,1° seulement pour le moins frileux et de 20,1° pour le plus frileux, les chiffres des occupants intermédiaires étant 16,5°, 17,9° et 18,6°. Parallèlement, les consommations moyennes quotidiennes variaient depuis 57 kWh jusqu'à 84.

Pour ces mêmes appartements à chauffage électrique (particulièrement intéressants de ce point de vue, puisque les gens faisaient ce qu'ils voulaient), la moyenne générale des living-rooms a été de 18,1°, celle des cuisines de 18,7°, celle des chambres de 17,1°, ce qui confirme ce que j'ai laissé entendre tout à l'heure : abandonnés à leurs désirs, les gens chauffent à peine moins les chambres que les living-rooms. Mais, entre nos divers occupants les différences individuelles sont sensibles. Si la moyenne générale du living-room est de 18,1°, en fait la moyenne du living-room varie de 21,1° (occupant le plus frileux) à 13,7° seulement, les valeurs intermédiaires étant 19,0°, 18,4°, 18,0°. L'occupant que je continue à appeler le

moins frileux (moyenne générale de l'ensemble de ses pièces : 15,0°; moyenne générale du living-room : 13,7°) chauffait donc ses chambres (à 15,2°) et sa cuisine beaucoup plus que son living-room. J'ai entendu dire parfois qu'il serait possible d'améliorer l'exploitation du chauffage central en réalisant un réseau de distribution pour les pièces de jour et un autre réseau pour les pièces de nuit et en munissant ces réseaux de deux régulations différentes.

Dans la réalité, si dans un collectif on trouvait beaucoup d'occupants semblables au dernier de ceux dont je viens de parler (occupants qui demandent plus de chaleur dans les chambres que dans les living-rooms), on risquerait de ne pas satisfaire ces occupants.

Si l'architecte conçoit un local en fonction d'une certaine destination et d'un certain mode de vie considéré comme plus ou moins idéal, il ne faut pas non plus négliger tout à fait ce fait que l'occupant peut affecter à chaque pièce une autre destination, et repousser ce genre de vie idéal pour un autre genre de vie à lui. C'est pourquoi, il faut être très prudent avant de fixer de façon stricte l'équipement d'un local. On construit une installation de chauffage pour de nombreuses années. Qui peut le plus peut le moins, c'est pourquoi nous sommes réticents vis-à-vis de ces solutions partielles et étriquées qui consistent par exemple à chauffer les locaux à 14° : *à partir du moment où on équipe une pièce d'un radiateur*, nous pensons qu'il est plus logique que ce radiateur puisse donner 18° au moins, d'autant que la dépense supplémentaire est tout à fait minime.

Un autre point intéressant en ce qui concerne les appartements chauffés électriquement est le fait de savoir comment les occupants se sont servis de l'intermittence et s'ils ont tenté d'économiser en réduisant leur chauffage la nuit. Sur six locataires (je précise que tous les six étaient d'un niveau intellectuel et même d'un degré d'éducation au-dessus de la moyenne), trois ignorent totalement l'intermittence et se chauffent, jour et nuit et dans toutes les pièces, en régime continu, sans réduction de nuit, un autre pratique une réduction sensible de chauffage la nuit, un autre utilise l'intermittence à fond et pratique l'arrêt de nuit ou, pour le moins, une très forte réduction; pour le dernier (qui est justement l'occupant le moins frileux dont j'ai parlé), on peut dire qu'il ne se chauffe que par à-coups, c'est-à-dire par trains de chaleur de quelques heures. On voit, là aussi, que la manière d'utiliser un même équipement présente des variations individuelles considérables.

Nous n'avons pas encore eu le temps d'étudier à fond les effets de ces intermittences sur les économies, ce qui pourra se faire approximativement en comparant d'abord les moyennes diurnes obtenues aux moyennes générales.

Enfin, les locataires chauffés électriquement se sont montrés aussi assez différents dans leurs méthodes d'aération des locaux. Aucun des six, cependant, ne s'est montré particulièrement amateur de la fenêtre ouverte. Le moins économe ou le plus soucieux d'hygiène, comme on voudra — je me garderai de porter sur ce point un jugement de valeur — était un locataire qui laissait régulièrement la fenêtre de l'une de ses chambres ouverte environ 1 à 2 heures par matin, ce qui provoquait une chute de température de l'ordre de 10° : ce même locataire ventilait moins son living-room et ses autres chambres. A l'opposé, nous avons au moins deux locataires (sur six) qui ne pratiquaient que des aérations très rares (souvent jamais au cours d'une journée). Quant à notre locataire le moins frileux, il aérail son appartement, mais peu. Le locataire le plus frileux, lui, n'aérail

pour ainsi dire pas du tout, ce qui laisse entendre qu'il ne s'agit pas précisément d'un occupant dépensier ou mal organisé, mais bien réellement d'un locataire frieux.

Je signale pour mémoire que les locataires ont pu être amenés à ventiler un peu plus leurs cuisines que les autres pièces, en raison des condensations.

Je borne là ces considérations sur le comportement des usagers du chauffage électrique et j'aborde par comparaison les résultats obtenus sur l'installation collective du chauffage central.

Pour donner aux gens le confort qu'ils voulaient ou, plus exactement, pour éviter des réclamations fréquentes (ce sont les 18° ou 19° diurnes qui, comme je l'ai dit, contentent 90 à 95 % des occupants, moyennant quoi on peut admettre que les 5 ou 10 % qui restent seront bien forcés eux aussi de se contenter de ce qu'on leur donne), nous avons été amenés, compte tenu des caractéristiques de l'installation et de la manière dont elle a été conduite, à fournir une température intérieure moyenne de 18,3°. Comme il s'agit d'un point important, je vais préciser un peu.

Cette moyenne de 18,3° (valable pour la période du 20 janvier au 2 mars et pour l'ensemble des quarante-deux appartements chauffés à partir d'une chaufferie centrale) est une moyenne à deux paramètres : dans l'espace, elle tient compte aussi bien des chambres et locaux secondaires que des living-rooms et, dans le temps, elle tient compte aussi bien de la nuit que du jour.

1° Étude de la distribution de nos températures intérieures dans l'espace.

La moyenne générale des living-rooms (18,4°) est à peine supérieure à celle des chambres (18,2°) et elle est inférieure à celle des cuisines (19,0°). Mais on ne peut pas déduire de ce fait (comme dans le cas du chauffage électrique) qu'il s'agit d'un désir formel des usagers.

Il est intéressant surtout d'étudier l'équilibre de notre installation et de voir s'il n'y avait pas d'appartements fortement défavorisés par rapport à d'autres.

Verticalement, l'équilibre est satisfaisant, comme le montrent les moyennes ci-après : quatrième et dernier niveau 18,3°; troisième niveau 18,6°; deuxième niveau 18,6°; rez-de-chaussée 17,6°. Il y a 1° d'écart entre le niveau le plus défavorisé, rez-de-chaussée, et les niveaux intermédiaires qui sont les plus favorisés.

Horizontalement, par contre, l'équilibre était quelque peu défectueux, notamment pour l'une des onze files verticales d'appartements, qui était assez défavorisée. Ainsi, tandis que les colonnes numérotées 2 à 11 donnaient des températures toutes comprises entre 17,4° et 19,7° (les chiffres sont exactement : 19,7, 18,5, 18,7, 18,1, 18,8, 17,8, 18,8, 18,7, 18,3, 17,4 et les différences entre ces chiffres peuvent s'expliquer en grande partie par des réactions individuelles des usagers sans qu'un défaut grave de l'installation soit en cause), par contre, la colonne 1 donne une moyenne de 15,8°, soit 2,5° de moins que la moyenne générale. Nous avons ainsi réalisé (sans le vouloir exactement du reste) une déféctuosité d'installation dont nous pourrions à loisir étudier les conséquences (je rappelle que nous avons la possibilité de compter les calories dépensées dans plusieurs colonnes et notamment dans cette colonne défectueuse). Cette étude reste à faire; mais, outre le confort un peu amoindri dont ont dû finalement se contenter les occupants de cette file verticale d'appartements, il est très probable que cette colonne nous a conduits à placer un peu plus haut notre moyenne générale, c'est-à-dire à surchauffer

très légèrement tout le reste de l'installation. Si nous refaisions l'essai avec cette colonne corrigée, nous pourrions très vraisemblablement abaisser d'à peu près 0,5° les températures intérieures des appartements distribués par les onze autres colonnes. Il est vrai qu'en contrepartie nous élèverions de 2° au moins les températures des appartements actuellement défavorisés; mais, sur l'ensemble, nous aurions une économie de 0,2° ou 0,3° : c'est-à-dire que, non seulement nous ne paierions rien pour le supplément de confort des locataires de cette colonne, mais nous pourrions faire une économie de mazout de l'ordre de 2 %. C'est à ce chiffre que nous pouvons fixer très grossièrement le gaspillage provoqué par cette légère imperfection de l'installation, qui, dans ses autres parties, donne satisfaction.

2° Étude de la distribution dans le temps.

Je parlerai tout à l'heure de la réduction de nuit et de son importance. Pour le moment, je vais examiner la constance de la conduite de la chauffe en comparant entre elles les températures intérieures moyennes obtenues jour par jour.

Dans la période du 20 janvier au 2 mars, la température quotidienne a varié de 17,6° à 18,9°, ce qui représente une amplitude de variation de $\pm 0,7^\circ$ autour de la moyenne, c'est-à-dire de $\pm 4,5\%$ de l'écart moyen entre intérieur et extérieur. En fait, même, 80 % des moyennes sont comprises entre 17,9° et 18,7°, ce qui ramène l'amplitude à $\pm 0,4^\circ$, c'est-à-dire à $\pm 2,5\%$. C'est un résultat certainement excellent et il est difficile de faire mieux si l'on tient compte que dans la même période la moyenne quotidienne de la température extérieure a tout de même varié de -2° à $+7^\circ$. Nous considérons, par conséquent, qu'aucun gaspillage n'est venu de surchauffes occasionnelles dues à des erreurs de la régulation centrale.

Notre régulation était faite très simplement par un aquastat qui, en déterminant les périodes de marche et d'arrêt des brûleurs, fixait la température de départ de l'eau des chaudières. La cote de cet aquastat était modifiée cinq fois par jour (à 6 h 15, 10 h, 13 h, 18 h, et 21 h 30) par le technicien chargé de la conduite de la chaufferie, qui avait pour consigne de suivre rigoureusement les indications d'un abaque linéaire fixant la température de l'eau en fonction des indications des thermomètres indiquant la température extérieure. Nous avons ainsi réalisé manuellement une régulation classique sur l'extérieur à trois allures : les conclusions s'appliqueraient donc aussi à une telle régulation fonctionnant correctement.

Je reviendrai rapidement sur l'influence de la réduction de nuit (de 21 h 30 à 6 h 15), qui comportait comme contrepartie une allure poussée (à 6 h 15 du matin).

Nous attribuons au fait que cette régulation nous a permis, malgré sa simplicité, d'éviter toute surchauffe accidentelle, la cause principale de nos dépenses de combustible relativement modérées.

Deuxième point. — Consommations du chauffage électrique comparées aux déperditions calculées.

Il est facile de comparer les résultats fournis par un calcul des déperditions conduit selon les méthodes classiques du *Guide du Chauffage et de la Ventilation* et les résultats moyens qu'on peut tirer des expériences sur les appartements chauffés électriquement. On peut, en effet, déduire de ces nombreux essais électriques le nombre de calories fournies par les convecteurs électriques et néces-

saires au maintien d'un certain écart (de 15° par exemple) entre l'ambiance intérieure et l'extérieur. On peut tirer un enseignement de cette comparaison.

Pour déduire les calories effectivement nécessaires (nombre de kWh \times 860) du calcul des déperditions, il faut appliquer aux déperditions calculées un coefficient toujours inférieur à 1 et qui a varié, dans nos expériences, selon l'appartement de 0,69 à 0,80 avec une moyenne de 0,75. Les valeurs sont pour les divers occupants : 0,69, 0,74, 0,76, 0,77 et 0,80. Comment expliquer cette différence, car il est évident que, physiquement, on est bien obligé d'émettre par effet Joule au moins autant de calories que la déperdition réelle : la déperdition réelle est donc inférieure à la déperdition calculée de 25 % en moyenne.

a) Il est possible que le renouvellement horaire soit en moyenne inférieur à une fois le volume. Mais, même en refaisant le calcul avec 0,75 fois, on trouve encore des rapports $\frac{\text{calories fournies}}{\text{déperdition}}$ qui varient cette fois de 0,74 à 0,85, la moyenne étant de 0,80 à 0,81.

b) Il y a la chaleur animale et les chaleurs d'appoint (cuisine), qui ne sont pas négligeables du tout; on peut les fixer en moyenne à 200 ou 300 cal/h par appartement, soit de l'ordre de 8 ou 10 %.

c) Il y a les apports par insolation qu'on peut évaluer aussi approximativement; pour le mois de février, toutes les estimations que j'ai pu faire par des méthodes auxquelles nous travaillons depuis des années — mais il s'agit d'un problème très délicat — donnent des taux de 5 à 8 %. Il semble bien que tous ces apports puissent expliquer la différence à peu de choses près, de sorte que le calcul des déperditions par parois comporterait, dans le cas qui nous occupe, un facteur de sécurité assez faible et certainement inférieur à 10 %.

Ces constatations comportent deux conclusions bien distinctes selon qu'on envisage les calculs de l'installation de chauffage ou ceux de l'exploitation. Elles ne doivent pas amener à conclure que les coefficients de conductibilité adoptés dans les calculs des installations sont excessifs. Même s'ils tiennent compte d'une légère marge de sécurité, cela est tout à fait normal, et, dans le cas de Melun, il apparaîtrait plutôt que cette marge est raisonnablement modérée. Par contre, puisqu'il semble bien que cette marge se trouve dans les coefficients fournis par le *Guide du Chauffage*, il ne conviendrait pas qu'un installateur surajoute à chaque fois sa marge propre, ce qui donnerait des installations excessives. Je saisis l'occasion pour dire que le *Guide du Chauffage* nous apparaît comme un ouvrage remarquable; il paraît préférable et plus sûr de suivre ses indications générales que de rechercher tout autre procédé (même celui qui consisterait à adopter pour un certain mur un coefficient déduit d'un essai de laboratoire unique exécuté sur ce mur); il conviendrait simplement à notre avis de compléter ce guide par des nomenclatures et des indications sur un certain nombre de parois de conception plus récentes que celles qui y figurent.

En ce qui concerne les chaleurs nécessaires à une saison normale de chauffage, et partant les consommations, ce sont probablement ces marges de sécurité sur les conductibilités et les renouvellements, ainsi que les apports auxiliaires : chaleur animale et chaleur solaire, qui expliquent pourquoi on trouverait toujours des valeurs excessives si on faisait les calculs sur le nombre brut de degrés-jours climatiques. A Paris, pour une température intérieure de 18° et une période de chauffage de 180 jours, le nombre brut de degrés-jours serait de 2 200, ce qui correspondrait, pour une installation calculée par — 7°, à

un peu plus de 2 000 heures de fonctionnement à pleine puissance. Tous les entrepreneurs de chauffage à forfait et tous les exploitants de chauffage savent fort bien que ce chiffre est excessif d'au moins 30 % et c'est pourquoi, quand nous avons établi notre carte de degrés-jours, nous l'avons basée fictivement sur une température intérieure de 15°, d'où à Paris 1 600 degrés-jours, chiffre qui est encore probablement un peu supérieur à la réalité.

La suite des essais de Melun nous permettra d'acquérir des précisions complémentaires sur ces points.

Troisième point. Rendement de l'installation collective.

D'ordinaire, on aboutit au rendement global d'une installation par des considérations analytiques, c'est-à-dire qu'on définit son rendement par le produit des rendements divers de production, de distribution, d'émission de la chaleur. Nous avons la possibilité, à Melun grâce à la comparaison entre les résultats fournis par nos chauffages électriques et par l'installation centrale, d'obtenir un rendement direct en suivant en quelque sorte une méthode synthétique et sans faire appel aux rendements composants.

Nous allons introduire ici une définition du rendement global de l'installation qui va constituer une notion de rendement peut-être un peu confuse d'un point de vue physique, mais fort utile et intéressante en pratique. D'abord, nous admettrons que l'unité de rendement, c'est-à-dire le rendement 100 %, est justement fournie par les chauffages électriques du type adopté à Melun. Après tout, un rendement étant constitué par un rapport, on garde un certain droit d'arbitraire, et, par exemple, le rendement sur PCi n'est pas le même que le rendement sur PCs. La seule « anomalie » de notre hypothèse c'est qu'on pourrait imaginer, physiquement, des systèmes de chauffage dont les rendements seraient alors de 102 ou 103 % : car, bien entendu, avec notre chauffage électrique par convecteurs directs situés dans les pièces à chauffer, s'il est bien exact que toutes les calories fournies par l'électricité sont bien distribuées dans la pièce (de ce point de vue-là, il n'y a aucune perte), par contre, la distribution des températures intérieures n'est pas absolument uniforme dans l'espace. C'est ainsi que, si l'on utilisait les mêmes convecteurs électriques en les plaçant cette fois non plus sur les parois extérieures mais sur les parois intérieures, loin des murs, il est possible qu'on consommerait un peu moins d'électricité, donc que notre rendement serait augmenté, car la fonction d'échange convecteurs-parois serait alors différente et sans doute plus favorable : CADIERGUES a approfondi cette question, mais j'imagine qu'il y aurait une légère différence, faible probablement, différence qui du reste pourrait s'inverser si nous considérions les températures résultantes et non plus les températures sèches. Quoi qu'il en soit, notre chauffage électrique de Melun est certainement l'un des meilleurs systèmes qu'on puisse imaginer du point de vue rendement et nous l'adopterons comme définition du rendement 100 %. C'est un premier point.

D'autre part, nous ferons abstraction totale des températures intérieures obtenues, c'est un second point. Après tout, les locataires ont été chauffés; ceux qui avaient le chauffage électrique se sont chauffés comme ils l'ont voulu; quant aux autres, nous les avons chauffés pour le mieux, c'est-à-dire à des températures qui tenaient compte de leurs désirs et réclamations d'une part, des possibilités de réglage et de souplesse de l'installation collective, d'autre part. Pratiquement, c'est cela qui importe.

Cela dit, la base 100 % de nos rendements étant fixée, connaissant d'une part pour chaque période les consommations de fuel de nos chaudières, donc les calories totales contenues dans le fuel, de l'autre, les calories utiles déterminées par le nombre de kilowatts-heure consommés dans les convecteurs électriques, nous définirons par division un rendement global de l'installation collective.

On voit que c'est là physiquement une notion un peu confuse et que nous ne pouvons y parvenir que parce que dans le même immeuble nous disposons d'appartements rigoureusement identiques chauffés par les deux systèmes. Du point de vue de la rigueur scientifique absolue, il faudrait pour assurer les conclusions faire une opération supplémentaire qui consisterait à déménager par permutation les divers occupants. Mais, enfin, tenant compte de ce que nous avons d'une part, six occupants chauffés par l'électricité, d'autre part quarante-deux chauffés par le fuel, nous nous contenterons d'espérer (il y a tout de même des raisons sérieuses à cet espoir) que les uns et les autres se sont comportés, en moyenne, comme l'occupant moyen qui serait placé dans les mêmes conditions.

Si ce rendement est une notion physique un peu confuse, cette notion est à mon avis d'un intérêt pratique essentiel car elle tient compte à la fois :

1° Du rendement de la chaufferie, du rendement de la distribution, du rendement de l'émission;

2° Des actions de l'usager qui peut très bien par exemple se ventiler différemment en chauffage individuel et en chauffage collectif, qui peut aussi, bien entendu, fermer des radiateurs dans un cas et pas dans l'autre;

3° Des qualités de souplesse comparées des deux installations. Il est en effet peu rigoureux, comme je l'ai dit l'année dernière, d'indexer un confort d'habitation par une moyenne de la température intérieure obtenue dans le temps comme l'ont fait les Anglais dans leurs essais d'Abbots. Je crois préférable, dans des expériences opérationnelles telles que Melun, d'ignorer pour la définition du rendement comparé de divers systèmes les températures intérieures obtenues en moyenne de part et d'autre : cela augmente considérablement la difficulté physique d'arriver au résultat, en obligeant certainement à travailler sur des ensembles de familles expérimentales en nombre assez grand pour éliminer suffisamment les différences individuelles et obtenir des moyennes valables, mais c'est bien ce résultat-là qui est intéressant.

La détermination sur les essais de Melun du rendement que je viens de définir est donc possible. Je passe sur la partie statistique qui permet d'étudier la précision du résultat obtenu : il vaut mieux évidemment travailler par courtes périodes (2 jours par exemple), déterminer chaque fois le rendement, ce qui permet d'avoir une certaine distribution que l'on peut étudier ensuite de manière à voir ce que signifie au juste la moyenne : on y parvient en appliquant des tests de calcul des probabilités. Ce sont là des mathématiques, et les mathématiciens ne se trompent jamais : il est vrai que les mathématiciens se trompent, mais, de toutes façons, l'horaire vous oblige à me faire confiance aujourd'hui. Le résultat corrigé est le suivant :

Pour la période du 20 janvier au 2 mars, $\theta_e = 2,5^\circ$ (de -2° à $+7^\circ$). Il y a équivalence entre 1 kg de fuel et 6,8 kWh, ce qui donne :

Rendement de notre chauffage électrique admis comme base.....	100 %
Moyenne des rendements de l'installation centrale	56 %

Eh bien ! si on y réfléchit, ce n'est déjà pas si mal. Cela veut dire que la somme de toutes les pertes et gaspillages dus à la chaufferie, aux tuyaux, au manque de souplesse, au fait notamment que la répartition des charges, sans qu'il y ait un comptage individuel, devrait normalement favoriser le sans-gêne naturel des usagers, etc., tout cela représente en tout 44 % (en janvier et février). Encore s'agit-il d'un rendement sur PC_s du combustible; sur PC_i ce rendement devient 60 à 61 %, c'est-à-dire que les pertes sont de 39 à 40 %. C'est ce dernier chiffre (sur PC_i) que je vais considérer, car, n'en déplaise à une pratique quasi-officielle, la perte qui résulte de la différence entre PC_s et PC_i étant inéluctable, je crois qu'il vaut mieux ne pas la faire traîner pour mémoire dans tous les calculs.

Comment décomposer cette perte de 40 % sur PC_i ? J'espère que nous pourrions répondre de façon très précise à cette question intéressante après d'autres saisons de chauffe. Je me contenterai de dire quelques mots en l'état actuel :

1° Rendement des générateurs.

L'an prochain, j'espère que nous aurons en chaufferie, à Melun, des enregistrements permanents du CO₂, du CO, des températures de fumée, etc. Pour cette année, on s'est contenté d'essais fréquents, mais instantanés. Je ne peux donc fournir une bien grande précision. Les CO₂ étaient en général de 10 à 12 % (moyenne voisine de 10,5), les imbrûlés gazeux étaient infimes, pour ne pas dire nuls, les températures de fumée assez variables entre 220 et 290° pour une dépression moyenne de 2,5 mm. Cela donne un rendement de l'ordre de 77 % sur PC_i, sans doute supérieur à la moyenne des chaufferies existantes, mais pas extraordinaire non plus. A partir de la saison prochaine, nos études sur la production de la chaleur seront beaucoup plus poussées.

2° Rendement de la distribution.

Je n'ai rien à dire sur le rendement de la distribution. Les tuyauteries étaient calorifugées en cave, mais pas en chaufferie.

3° Surchauffe.

En ce qui concerne la surchauffe, il faut distinguer. J'ai déjà dit que la conduite avait été assez remarquable et qu'aucune surchauffe accidentelle notable n'avait été due à des erreurs de réglage au départ des chaudières. Par contre, en raison d'une imperfection de l'installation (une colonne montante défavorisée par rapport aux dix autres) on avait été conduit à adopter une très légère surchauffe permanente qui pouvait abaisser le rendement d'un chiffre que j'ai grossièrement fixé à 2 % maximum. Néanmoins, il est très remarquable de constater que la température intérieure moyenne dans les appartements chauffés en collectif n'a été que de 0,7° supérieure à la température moyenne dans les appartements chauffés électriquement : 18,3° d'un côté, 17,6 de l'autre, c'est-à-dire que la surchauffe de l'installation collective par rapport à l'autre installation a été de 0,7/15 (15 est à peu près l'écart moyen), soit moins de 5 %. C'est réellement peu.

4° Autres actions des usagers.

En ce qui concerne les autres actions des usagers (ventilation, action sur les robinets de réglage des radiateurs), j'ai trop peu de résultats pour en faire état cette année. Il est un fait, c'est que, à deux ou trois exceptions près, les usagers ne se servent pour ainsi dire pas de leurs robinets d'arrêt.

Ces résultats concernent une période de froid moyen : $\theta_e = 2,5^\circ$ en moyenne. Que deviendront-ils par temps très doux (θ_e variant de 6 à 12° par exemple) ? On sait qu'on a souvent reproché au chauffage central d'être la cause de gaspillages en demi-saison, c'est un problème très épineux. Nous avons commencé l'étude des expériences du mois de mars (exactement période du 2 mars au 6 avril) au cours de laquelle θ_e (variable entre 3 et 11) = $7,5$ en moyenne. Il semble bien qu'on trouve un abaissement assez sensible du rendement comparé au chauffage collectif : mais je ne puis indiquer un chiffre précis, il y a encore trop peu d'essais. En tout cas, il y a alors une surchauffe sensiblement plus élevée (14% constatés au lieu de 5%), mais il est probable que l'ensoleillement joue alors un rôle sensible, ce qui complique l'étude évidemment.

Les rendements cités obtenus sur une installation collective sans comptage individuel suggèrent une réflexion concernant justement l'intérêt du comptage individuel de la chaleur. On entend dire quelquefois que ce comptage individuel présenterait un avantage économique substantiel, idée qui n'est pas du tout déraisonnable a priori. Eh bien, cela ne paraît pas bien sûr à la lumière de l'expérience, et, en tout cas, ce n'est absolument pas démontré. Admettons que nous équipions l'installation de Melun de compteurs individuels (nous nous proposons de le faire un jour dans une partie de l'installation). Sur quoi gagnerions-nous à confort égal, je dis bien à confort égal, car je suppose que quand on parle de bénéfice économique on n'entend pas par là une économie obtenue aux dépens des usagers par une gêne ou un inconfort qu'ils seraient amenés à s'imposer ? Nous ne gagnerions pas sur les rendements de production, de distribution et d'émission. Nous gagnerions sur la surchauffe, vraisemblablement, en ce sens, par exemple, que certains locataires boucleraient les vannes d'arrêt dans une pièce inoccupée, mais combien ? nous avons vu que, sans comptage, la surchauffe des appartements à distribution collective avait été de 5% par rapport à un chauffage électrique que les usagers réglaient eux-mêmes. Cela laisse sceptique sur les gains. On gagnerait aussi un peu sans doute sur les ventilations naturelles. Mais, les résultats de Melun suggèrent qu'on gagnerait peu en tout et il est même assez probable que le gain ne représenterait pas un amortissement complet des compteurs installés.

Il n'est donc pas exact de dire que le chauffage collectif et la répartition collective des charges sont la source de gaspillages considérables. Qu'il y ait des installations (mal réalisées ou mal conduites quand ce n'est pas les deux) qui soient la cause de tels gaspillages, c'est un fait indiscutable, mais ces gaspillages ne sont pas dus au principe du chauffage collectif, mais aux mauvaises réalisations ; une mauvaise installation mal conduite provoque des gaspillages directs dus aux mauvais matériels et aux surchauffes, et aussi, en outre, des gaspillages indirects par suite des réactions des usagers. Par contre, une bonne installation, bien équilibrée, où la circulation de l'eau est bonne partout et les chutes dans les radiateurs régulières, si elle est de plus réglée rigoureusement ne donne pas de gaspillages excessifs. Cela dit, nous ne sommes pas opposés au C. S. T. B. au comptage individuel, qui figure à notre programme d'études, et nous

croyons en tout cas qu'il mérite une étude approfondie. Le comptage peut avoir dans certains cas son utilité psychologique, quand il est démontré que les occupants tiennent absolument à payer ce qu'ils consomment, individuellement, même si c'est finalement plus cher (tout compris). Son intérêt principal, c'est qu'il permet aux occupants les plus impécunieux de sacrifier volontairement une partie du confort : ainsi, le comptage serait-il nécessaire chaque fois qu'il serait démontré, par exemple, que plusieurs habitants d'un collectif ne pourront payer que 50 ou 60 ou 80% du prix nécessaire à l'obtention du confort souhaitable. C'est là une considération valable et importante et, au fond, l'intérêt du comptage est ainsi directement lié au niveau de vie des occupants : on peut même arriver à cette conclusion paradoxale qu'un système économiquement peu intéressant peut se trouver quelquefois nécessaire en pratique, mais il importe en tout cas de n'en pas exagérer les avantages, ce qui amènerait des conclusions générales erronées. Il est encore beaucoup plus essentiel de réaliser ces installations qui permettent une exploitation économique, c'est-à-dire dont le rendement, tel que je l'ai défini, approche les 55% , et cela est possible. Il serait souhaitable à ce propos, pour tenir compte des nécessités actuelles, qu'aux essais de réception habituels des installations et notamment à l'essai de puissance adjoints des essais d'équilibrage et de régulation.

Quatrième point. — Influence de l'intermittence.

Je ne suis pas encore en mesure de vous dire de façon chiffrée l'importance de l'économie que nous avons pu réaliser grâce à la réduction du chauffage la nuit. On doit pouvoir tirer des mesures effectuées, un résultat approché dès cette année, mais le calcul reste à faire. Je vais, cependant, consacrer à cette question une partie de mon exposé, partie qui sera destinée, si vous le voulez bien, à préparer et à orienter les essais futurs.

Il est raisonnable de penser que la réduction ou l'arrêt du chauffage la nuit doit réduire les dépenses, encore que, à la réflexion, ce ne soit pas une évidence mathématique et absolue. Mais, posons d'abord le problème. Sur quelle période peut s'étendre cet abaissement des températures intérieures obtenues ? Sur ce point, Melun n'a fait que confirmer des évidences qui se déduisent du simple bon sens. Dans un H. L. M., il y a un pourcentage assez élevé de gens qui se lèvent aux environs de 7 heures du matin ; il y en a, d'autre part, un certain pourcentage, non négligeable, qui se couchent, sinon très souvent, du moins assez souvent, vers 10 heures et demie ou même 11 heures du soir. Or, si, à la rigueur, il pourrait être concevable de réduire un peu le confort général à certaines heures de la journée (le matin par exemple de 10 heures à midi, alors que le nombre des personnes occupant le logis est réduit et que la ménagère travaille dans sa cuisine, où il y a toujours des chaleurs d'appoint), cette réduction n'est surtout pas possible à 7 heures du matin, au moment du lever et alors que certaines salles d'eau sont utilisées, ni non plus le soir lors de la veillée en famille, moment où les gens sont particulièrement fondés à se montrer exigeants. Nous admettons donc qu'une réduction appréciable des températures n'est possible que de 11 heures du soir à 7 heures du matin : compte tenu de l'inertie, la réduction ou l'arrêt de la production de chaleur aux chaudières doit être antérieure comme aussi, en contre-partie, le démarrage du matin en allure poussée. Ainsi, à Melun, nous avons utilisé la marche réduite de 9 heures du soir à 6 heures du matin et nous n'avons dérogé à cette règle que dans des cas très rares, ce qui

nous a amené, exceptionnellement, une ou deux réclamations. En résumé, la période pendant laquelle on peut réduire le chauffage n'est pas supérieure à 8 heures, c'est-à-dire qu'elle représente un tiers de la durée totale.

Même pendant cette période, il ne serait pas normal de laisser trop s'abaisser les températures. N'oublions pas qu'il n'y a pas que des gens valides et d'âge mûr dans une maison collective. Il est même prévisible qu'on sera amené, dans l'avenir, à soigner de plus en plus des maladies même assez sérieuses dans le foyer. Par temps très froid, il faut en outre éviter ou tout au moins limiter les condensations. Il y aurait des inconvénients à descendre au-dessous de 12°.

Une installation théorique infiniment souple et à rendement constant qui fournirait dans un bâtiment sans inertie 18° de 7 heures à 23 heures et 12° entre 23 heures et 7 heures consommerait environ 18 % de moins que la même installation fonctionnant en continu (pour le climat parisien). Mais, en fait, l'inertie empêche, et de loin, qu'il soit pratiquement possible d'obtenir une telle économie.

Un renseignement intéressant serait de savoir à Melun de combien la température moyenne sur les 24 heures a été inférieure à la température moyenne des 18 heures comprises entre 7 heures du matin et 11 heures du soir. Les dépouillements ne sont pas achevés, mais c'est très faible. Ce résultat n'est pas nouveau, mais, comme il n'est pas connu de tous les praticiens de la construction, je vais dire un mot de quelques expériences étrangères qui sont là pour le confirmer.

Le gouvernement allemand avait décidé, en 1940, dans le but de réaliser des économies de combustible, l'arrêt du chauffage des immeubles de bureau le dimanche : mais cette décision fut rapportée au bout d'une année, les économies ayant alors paru problématiques. Il est possible que ce résultat qui paraît quand même un peu excessif ait tenu pour une part au fait qu'un certain nombre d'installations étaient quelque peu vétustes ou difficiles à régler. Mais, d'un autre côté, WINSLOW a trouvé expérimentalement les économies suivantes pour un arrêt de 8 heures par jour :

20 %	avec des constructions exceptionnellement légères;
14 %	— — — moyennes (briques de 35).

A Copenhague, pour un arrêt de 8 heures, on aurait obtenu des économies de 4 à 8 %. Citant ces résultats expérimentaux, WESTON conclut, d'une manière qui paraît raisonnable, que l'économie due à une intermission de 8 heures peut difficilement dépasser 5 à 10 %, sauf pour des constructions légères.

Or, il se trouve que, pour le moment, il existe encore peu de grands collectifs d'habitation de construction légère. La construction légère se heurte du reste à des difficultés techniques de matériaux et d'assemblages et surtout à des difficultés fonctionnelles : il y a des difficultés d'isolation et de protection contre les grosses chaleurs, il y a surtout des difficultés d'ordre acoustique qui sont très considérables. D'un autre côté, s'il y a effectivement une certaine tendance à alléger la cons-

truction par l'emploi de matériaux évidés, on trouve aussi une tendance, non pas absolument générale, mais visible chez d'assez nombreux architectes, à augmenter l'épaisseur des constructions, ce qui, en augmentant le poids relatif des planchers et des cloisons intérieures, tend à alourdir la masse thermique.

Pour ne parler que des murs, alors que la constante de temps d'un mur de 25 cm en briques pleines est de 15,9 heures, on peut imaginer des constructions spéciales (aluminium avec bourrage en laine de verre) dont les constantes de temps sont de 2 à 3 heures seulement. Mais tous les murs courants ont des constantes de temps importantes, 10 heures ou plus, et ressortissent à la construction lourde.

Il n'apparaît donc pas, en attendant un allègement éventuel considérable de la construction, qu'on puisse espérer des gains importants de la réduction ou de l'arrêt du chauffage collectif la nuit. Il semble bien en pratique qu'il faille distinguer deux cas.

— Si l'on a affaire à une installation qui se prête très mal aux changements d'allure (cas de chaudières vétustes, ou d'une installation calculée trop juste, cas où on utilise la chauffe à main...), il peut être alors prudent de chauffer en continu (ce qui ne veut pas dire à température de départ constante), car on risquerait de perdre par baisse de rendement ou surchauffe à la remise en régime plus que ce que l'on aurait gagné du fait de la réduction.

— Si, au contraire, l'installation peut fonctionner de façon satisfaisante dans une large plage de coefficient d'utilisation (ce qui doit être du reste le cas de toute installation moderne d'une certaine puissance équipée d'au moins deux générateurs, à mazout ou à charbon, à fonctionnement automatique ou semi-automatique), alors on peut et même on doit utiliser aussi largement que possible l'intermittence ce qui signifie que la puissance installée doit alors tenir compte de ce fait.

Ces points restent à préciser. Quoi qu'il en soit, l'hiver dernier, nous avons fait jouer assez peu l'intermittence de nuit. Par une température extérieure de 0°, les températures de départ étaient de 48° pendant la nuit et de 60° le matin à la mise en régime. L'année prochaine, nous ferons probablement la nuit une réduction plus marquée et peut-être améliorerons-nous un peu de cette manière les consommations.

J'indique en terminant un chiffre pratique : pour l'ensemble de la saison la consommation de fuel léger a été de 1,6 t par appartement moyen, soit sensiblement 1,65 kg par radiateur-jour. La consommation d'électricité (pour les pompes et les brûleurs) a été parallèlement de 0,11 kWh par radiateur-jour ce qui, même en ajoutant les frais de main-d'œuvre, mettrait le radiateur-jour à un tarif des plus raisonnables, si on tient compte du large confort réalisé. Or, les immeubles de Melun n'ont pas une isolation extraordinaire. Leur coefficient au mètre cube est de 1,2 environ; et je rappelle que, pour le concours de Strasbourg, le M. R. U. avait, sur nos conseils, exigé une isolation de 1 cal/m²/h/°C : il est vrai qu'à Strasbourg, climat nettement plus froid que Paris, il est logique d'isoler davantage les constructions. Mais, de toute manière, l'isolation des bâtiments de Melun n'est que moyenne.

CONDUITS UNITAIRES

En France (seule, l'Alsace fait exception), il est interdit par les règlements (ou par la coutume là où il n'y a pas de règlement formel) de desservir plusieurs appareils de chauffage domestique par un même conduit d'évacuation. C'est la règle du conduit spécialisé ou conduit individuel. Nous avons été amenés à repenser le problème de cette interdiction et notre *Commission Consultative des Conduits de Fumée*, que préside M. le professeur RIBAUD, Membre de l'Institut, dont M. le professeur VERON et le président HÉRODY sont les éminents et actifs vice-présidents, et où j'exerce, au nom du C. S. T. B., la fonction de rapporteur, est saisie de la question. Je ne veux rien divulguer de ses délibérations, ni préjuger les avis qu'elle pourra en définitive formuler. Mais il me paraît intéressant de fournir, d'un point de vue strictement technique et en toute objectivité, l'état actuel du dossier.

D'abord, il y a bien un problème du conduit unitaire et ce problème est très actuel. Pourquoi ? On construit de plus en plus des habitations en hauteur : des sept, des treize, même des dix-sept étages. Dans ces immeubles, le passage des conduits devient une difficulté architecturale essentielle. En outre, on peut douter que ces conduits de fumée, étant donné les nombreux dévoiements qu'ils devront comporter et les conditions dans lesquelles on sera forcé de les faire entrer dans des plans restreints, on peut douter, dis-je, que ces conduits soient, en règle générale, très correctement établis.

C'est un fait, d'autre part, que les divers pays ne sont pas d'accord sur cette question des conduits unitaires. Certains autorisent, d'autres tolèrent, d'autres enfin, comme la France, interdisent. Ce sont, en règle générale, les traditions et coutumes qui font les règlements à l'origine; mais, il faut croire que les divers pays n'ont pas tiré les mêmes conclusions de leur expérience acquise, ce qui laisse entendre que la solution n'est pas simple.

Aucun théoricien, aucun expert ne prétend sérieusement que le tirage d'un appareil de chauffage branché sur un conduit unitaire sera par principe défectueux. La seule raison qui a entraîné l'interdiction des conduits unitaires dans plusieurs pays, c'est la crainte des risques que pourraient provoquer ces conduits unitaires dans des circonstances occasionnelles, voire exceptionnelles : risques d'explosion et, surtout, risques d'incommodation ou d'asphyxie par suite des refoulements de gaz nocifs d'une pièce dans une autre, et, dans le cas qui nous occupe, d'un étage à un autre.

Le risque de refoulement, qu'une théorie rapide révèle très faible, existe cependant en principe dans les conduits unitaires habituels, principalement lors d'une brusque élévation de la température extérieure; quand on allume un foyer dans le conduit encore froid. Ce risque est-il confirmé de façon notable par l'expérience acquise sur les conduits unitaires construits avant la réglementation ? (A Paris, ils sont plus nombreux qu'on ne le croit). Tous les experts ont entendu parler couramment de déboires et d'ennuis causés par des conduits unitaires. Mais, ils ont également beaucoup entendu parler de déboires et d'accidents à propos de conduits spécialisés et Kohn-Abrest cite des chiffres d'où il ressort que les conduits de fumée, quoique généralement traditionnels, ont asphyxié beaucoup de gens. Ce qui serait intéressant, ce serait surtout de savoir très exactement, à propos de chacun des déboires relevés sur un

conduit unitaire, s'il est dû à un manquement aux règles de l'art ou au principe même. Il n'existe pas à la Préfecture de Police de statistique exacte dénombrant et classant ces accidents.

Des procédés ont été imaginés, dont nous n'avons pas à apprécier, du strict point de vue technique, le caractère original ou brevetable, pour améliorer les constructions de conduits unitaires et en restreindre encore les dangers. Déjà l'adjonction d'un aspirateur antirefouleur constitue une amélioration. Le système couramment utilisé en Belgique sous la dénomination « Shunt » et qui commence à se répandre dans d'autres pays, en Italie notamment, ajoute une autre disposition technique : le conduit est formé de boisseaux préfabriqués à deux trous, un trou de section 400 cm² qui forme collecteur, un plus petit accolé au précédent. Chaque foyer est raccordé ainsi à un conduit individuel en maçonnerie qui monte sur la hauteur d'un étage et c'est seulement après ce parcours vertical d'au moins 2,5 m que les produits de combustion viennent se déverser dans le collecteur grâce à un boisseau spécial qui réalise la jonction. Ce procédé présente l'avantage que les gaz, lorsqu'ils passent au niveau de l'ouverture correspondant à l'étage supérieur ont déjà acquis une certaine vitesse ascensionnelle : ainsi les risques de refoulement et de siphonnement sont-ils restreints. On peut imaginer d'autres avantages du point de vue du tirage : il y a un échange thermique entre le collecteur et le conduit individuel par transmission dans la languette de séparation, ce qui accroît la force ascensionnelle et supprime les remous au confluent. En outre, le risque d'explosion est, à priori, réduit, la source d'étincelle (au foyer) étant éloignée du collecteur. A ces avantages thermiques s'ajoutent des avantages constructifs dus à la préfabrication du boisseau : réduction des joints, moins d'erreurs de montage, etc., et une amélioration de l'isolement sonore (par rapport aux conduits unitaires ordinaires).

Ce système a fait l'objet d'expériences poussées et sérieuses en Hollande d'abord. Les expérimentateurs hollandais ont tiré des conclusions dans l'ensemble très favorables et ont notamment pu démontrer que les risques d'explosions dommageables étaient inexistantes.

Nous avons fait, nous-mêmes, sur une construction bâtie, par la S. N. C. F., à Toulon pour le logement du personnel et équipée à titre expérimental de conduits du système « Shunt », des essais pendant le mois de décembre. A priori, le climat de Toulon devrait être l'un des plus dangereux pour un tel système à cause de sa grande douceur, de la très brutale élévation de température qui se produit souvent le matin quand, après une nuit fraîche, l'ensoleillement donne son plein effet; du fait, enfin, qu'on est amené à se chauffer la plupart du temps par courtes intermittences. En outre, la zone d'essai était le siège de vents fréquemment variables et assez souvent plongeants. Il y a eu aussi pendant la durée des essais des périodes de calme plat.

Ces essais avaient pour but de déterminer les possibilités de refoulements des gaz d'un étage à un autre dans des conditions très variables de fonctionnement.

L'immeuble expérimental, de construction traditionnelle, comportait quatre niveaux. Le conduit essayé desservait les quatre cuisines. Au rez-de-chaussée, nous avons installé un poêle à feu continu. Au premier étage, l'ouverture fut laissée libre et nous avons étudié de façon

très précise s'il n'y avait pas de refoulements à cet étage, dont la cuisine était transformée en petit laboratoire. Au deuxième étage, nous avons installé d'abord un poêle à gaz, puis une chaudière à gaz, qui présentait l'avantage à nos yeux de produire un volume considérable de gaz à basse température : ces gaz étaient introduits dans le conduit à 80 ou 90° à peine. Au dernier niveau, nous avons installé une cuisinière à charbon. Nous mesurions, évidemment, les conditions extérieures : températures et vent, les températures intérieures, les dépressions dans les diverses bouches de départ, les températures des fumées. Nous mesurions aussi, grâce à des anémomètres directs à fil chaud mis au point par les Laboratoires du *Gaz de France*, les vitesses des courants gazeux dans le conduit collecteur avant la souche et, aussi, dans le départ individuel du premier étage. Ces anémomètres directs donnaient après étalonnage, non seulement la vitesse des gaz, mais aussi leur sens, c'est-à-dire qu'on savait si le courant était descendant ou ascendant; et, par conséquent, dans le cas où il y aurait eu une inversion de tirage, elle aurait été enregistrée, car nous faisons un enregistrement sur millivoltmètre, enregistrement qui était fréquemment contrôlé. Enfin, des ventelles pour mise en évidence des refoulements avaient été mises au point : ces ventelles constituées en gros par des plaquettes minces qui, en équilibre sur deux couteaux, entraient en contact avec un contact électrique si le courant était dans un certain sens et avec un autre contact si le courant était de sens opposé, permettaient d'enregistrer sans aucune inertie, non seulement tout refoulement valable et de quelque durée, mais même la moindre vibration de l'atmosphère du conduit.

Je ne puis décrire tous les essais qui ont occupé le mois de décembre 1951. En fait, il y eut plus de cinquante essais distincts, que nous nous efforcâmes de placer aux moments climatiques les plus défavorables au tirage, en particulier pendant le relèvement de température du matin. Chacun de ces essais consistait à allumer l'un des foyers, poêle à charbon, appareil à gaz ou cuisinière à charbon, et à noter tout ce qui se passait dans le collecteur près de la souche, dans la pièce même du foyer en fonctionnement et aux autres niveaux, notamment dans la cuisine laboratoire du premier (où il n'y avait pas de foyer). Nous avons ainsi un nombre assez important de mesures que je ne puis détailler.

Mais il est assez remarquable que, pour toute la période considérée, il n'y a *jamais eu le moindre refoulement* dans la cuisine expérimentale du premier étage (et, cependant, il nous est arrivé d'essayer d'amorcer ce refoulement en ouvrant une fenêtre du côté sous le vent de manière à essayer de mettre la pièce en dépression. Il n'y a pas eu non plus le moindre refoulement ni début de refoulement au rez-de-chaussée et au deuxième étage. Il y a eu au dernier étage, une seule fois, le 14 décembre au milieu de la journée, lors d'un allumage brutal du poêle du rez-de-chaussée, une amorce de refoulement qui a duré en tout et pour tout 4 mn. Au bout de ces 4 mn, le tirage est devenu parfaitement correct et le refoulement a cessé : il ne s'agissait donc pas là d'un accident grave et dangereux.

Après que nous ayons eu fini ces expériences, les appartements ont été livrés à leurs occupants, qui ont utilisé les conduits « Shunt » pendant les mois de janvier, février et mars, *sans incident*.

Un autre élément important à considérer, c'est l'expérience belge de ces systèmes de conduits. Les références contrôlées démontrent que 15 000 appartements sont équipés, principalement à Bruxelles, Liège et Anvers, avec ce système. Tous ces conduits ou à peu près ont été en service quasi-permanent pendant la guerre et un certain nombre sont encore en fonctionnement à l'heure

actuelle. Parmi tous ces conduits, de très nombreux desservent naturellement des poêles à charbon. Il y a aussi beaucoup de conduits unitaires du type « Shunt » adaptés à des foyers ouverts : cheminées d'appartement. Il y a un nombre très appréciable de petites chaudières d'appartement à charbon, en fonctionnement, sur ces conduits. Il y a, en nombre non négligeable, des poêles à gaz. Enfin, il y a même des cas où l'on trouve, branchés sur le même conduit, des appareils à gaz et des appareils à charbon, mais ces derniers cas sont naturellement beaucoup plus rares que les précédents.

Nous avons fait une enquête poussée sur place, à Bruxelles, à Liège et à Anvers. Au cours de cette enquête, qui a duré 15 jours pleins, plus de cinquante immeubles ont été visités, des gérants, des concierges et des occupants ont été consultés et interrogés sur place même.

Il serait fastidieux et inutile de décrire en détail ces visites. Mais les conclusions sont nettes :

— Le tirage des foyers est satisfaisant;

— Il n'y avait absolument jamais de refoulement ou d'ennui quelconque aux étages inférieurs, les seuls inconvenients constatés dans de rares cas (je vais en parler) étaient localisés au dernier niveau, quelquefois à l'avant-dernier.

— Dans la très grande majorité des cas, les occupants se sont déclarés pleinement satisfaits de leur conduit unitaire, et, en fait, nous n'avons trouvé que trois contre-références, dont une, il est vrai, portant sur un groupe de logements important (à Anvers).

Je tiens, en effet, à souligner que nous avons poussé l'enquête et que nous avons cherché au maximum à découvrir les contre-références. Il n'est pas normal, en effet, qu'un système, quel qu'il soit, de conduits de fumée ne donne pas lieu à certaines contre-références, et c'est justement l'étude de ces échecs qui est la plus fructueuse. Deux des trois contre-références rencontrées s'expliquaient parfaitement par une très importante erreur de montage; elles ne peuvent pas être imputées au système. Dans le troisième cas, les conduits qui ne donnaient pas satisfaction bordaient une vaste cour intérieure qui, placée en dépression, empêchait le tirage des conduits. Je précise que, dans ce dernier cas, les occupants se plaignaient d'un tirage trop faible de leurs foyers, mais aucun de ceux que nous avons consultés ne nous a dit qu'il y avait eu refoulement de fumée d'un étage à un autre.

Les personnalités que nous avons consultées, Service de l'Architecte en Chef de la Ville de Bruxelles, Société des Habitations Nationales, notamment, nous ont confirmé que le système était toléré en Belgique, que, bien que non réglementaire, les constructions qui le prévoyaient recevaient sans difficulté l'autorisation de bâtir. On n'a pas pu nous signaler d'accident.

Enfin, dans toute l'enquête en question, on n'a jamais pu nous dire que, dans un des immeubles intéressés, il y avait eu une personne incommodée ou (à fortiori) asphyxiée par le conduit. Une seule exception : dans un des logements de l'une des contre-références signalées ci-dessus (une de celles qui sont dues manifestement à une erreur de montage), un enfant aurait été, nous a-t-on dit, un jour *légèrement incommode*.

Comme il est normal dans toute enquête objective, nous nous efforcerons de citer aussi exactement que possible les propres paroles des personnes interrogées.

Telles sont les conclusions de l'enquête. Incontestablement et objectivement, elles sont très favorables. Les conduits, édifiés depuis 1935 sur des constructions importantes, et en grand nombre, ont donné, jusqu'à présent, satisfaction, autant certainement, au moins, que toute autre manière de construire.

Pour éviter cependant les difficultés essentielles de tirage ou les refoulements au dernier niveau, les constructeurs installent maintenant pour ce dernier niveau des conduits individuels : ils ont fabriqué à cet effet des boisseaux spéciaux. Ils prennent, en outre, la précaution de ne jamais brancher plus de cinq foyers sur un même collecteur, ce qui fait que, compte tenu de ce qu'alors deux niveaux supplémentaires sont équipés d'un tuyau individuel (le même boisseau comprend alors la gaine collective et les deux conduits individuels), une même cheminée « Shunt » peut desservir à elle seule une construction de sept étages. S'il y a plus de sept étages, on installe alors deux cheminées « Shunt » (ou trois s'il y a plus de quatorze étages, etc.). Pour les foyers ouverts, le nombre de feux desservis par le collecteur est réduit à trois.

Un dernier élément du dossier est fourni par les économies que permet sur les constructions de grande hauteur l'emploi des conduits unitaires. Avant que nous ayons examiné cette question, nous n'aurions jamais pensé que les conduits de fumée représentaient une pareille dépense. Les chiffres que je vais vous donner représentent le coût de construction des conduits seuls, compris évidemment souches et chaînages, mais non compris l'éventuelle cheminée d'appartement. Nous supposons que l'appartement H. L. M. de quatre pièces est équipé de trois batteries de conduits, dont un dans la cuisine. Dès lors, le coût d'installation de ces conduits s'élève aux pourcentages ci-après du coût total de la construction (prix de février 1952) :

Dans un	7 étages,	4 %,	soit plus de 100 000 F	par appartement.
—	13 —	6 %,	150 000 F	—
—	17 —	plus de 7 %		

Les conduits unitaires du système « Shunt » ou d'un système équivalent permettraient une économie d'environ la moitié de ces pourcentages, c'est-à-dire une économie réellement considérable sur chaque logement. A cette économie s'ajouterait, en outre, le gain d'encombrement qui, pour un treize étages, serait de 1,2 % de la surface totale.

Tels sont les éléments du dossier. Nous nous faisons évidemment scrupule de préconiser un système qui repose, pour le moment, sur des brevets étrangers, mais là n'est pas la question. Le problème est de savoir si l'on est réellement fondé à continuer à interdire dans tous les cas tous les conduits unitaires ou si l'on doit, au moins dans certains cas, tolérer tel ou tel conduit unitaire aménagé.

Il appartient à notre Commission de formuler un avis (1),

aux Pouvoirs Publics de prendre, chacun en ce qui le concerne, sa responsabilité.

Mais la question, en raison de ses incidences économiques, est importante et urgente pour la construction.

Conclusion.

A propos de cette question des conduits de fumée, nous avons un exemple clair de ces questions qu'on dénomme fonctionnelles et qui sont si importantes pour la conception de l'habitat. La construction d'une habitation suppose ici, une collaboration de l'architecte, du maçon, du fumiste et de l'installateur : et on ne saurait résoudre au mieux un problème d'habitat, même si, comme celui des conduits de fumée, il est d'essence essentiellement thermique, en faisant appel aux seuls thermiciens. A plusieurs reprises, d'ailleurs, dans cette conférence, j'ai essayé de rattacher les problèmes thermiques à des problèmes fonctionnels plus vastes et dont les solutions sont malheureusement à peine entrevues. Quand j'ai évoqué l'inertie de la construction, par exemple, vous avez bien compris que toutes les considérations qu'on peut bâtir, mathématiquement ou expérimentalement, du point de vue thermique, risquent de s'effondrer en pratique et de n'aboutir à rien en raison d'exigences acoustiques ou économiques impérieuses. C'est le rôle de l'architecte (et il faut avoir compris ce rôle pour ne pas réclamer des architectes des vertus et des compétences humainement impossibles), c'est le rôle de l'architecte de concilier dans une construction un certain nombre de besoins et de nécessités souvent peu conciliables; et l'architecte aurait besoin, pour déterminer son choix et orienter sa conception, que se constitue, en marge de l'architecture et à son service, un corps de doctrines spécial qui serait la science fonctionnelle de l'habitation. Cette science — c'est notamment le rôle du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment de favoriser son développement — en est à ses débuts : nous tâtonnons sur les standards d'inertie thermique à obtenir, sur les dimensions des baies, sur des problèmes d'architecture liée au climat, et même sur des questions plus fondamentales encore de volumes, de surfaces, etc. Mais il sera certainement très utile que ce corps de connaissances se constitue car son manque se fait durement sentir. Au reste, ce sont les premiers pas d'une science ou d'une technique qui sont souvent les plus intéressants et j'espère ne vous avoir pas trop écartés de vos préoccupations professionnelles en ramenant par principe, aussi souvent que j'ai pu, l'équipement de chauffage à la fonction pour laquelle il est conçu : l'habitat.

CONCLUSION DU PRÉSIDENT

Il est heureux, Messieurs, que M. FOURNOL se soit arrêté de lui-même car j'ai l'impression que s'il ne l'avait pas fait le banquet de ce soir aurait pu être gravement compromis. Et nous resterions des heures et des heures à l'entendre car, outre son grand talent de conférencier, il traite un sujet passionnant.

D'ailleurs, dès que dans nos techniques on aborde les questions in vivo, c'est-à-dire dès qu'on revient à leur base humaine, l'intérêt s'accroît.

Je suppose qu'au sujet des conclusions temporaires et prudentes de M. FOURNOL, il y aura lieu peut-être de faire certaines réserves. Ce sera l'objet de la discussion de tout à l'heure. Peut-être, M. FOURNOL, vous demandera-t-on certains renseignements sur vos statistiques, sauf évidemment les personnes qui trouvent dans votre rapport la corroboration de leur propre sentiment car, ainsi que le disait en substance le regretté DETEUF : « Si une statistique confirme votre opinion, ne demandez surtout pas comment elle a été faite. »

Nous allons maintenant entendre M. CADIERGUES et nous discuterons ensuite les deux conférences.

M. FOURNOL, encore une fois toutes nos félicitations et remerciements.

(1) Depuis l'exposé de M. FOURNOL, la Commission consultative des conduits de fumée et de ventilation a, en effet, pris position.

ÉTUDES ET RECHERCHES 1951 DU COMITÉ SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE L'INDUSTRIE DU CHAUFFAGE ET DE LA VENTILATION

par R. CADIERGUES.

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

Vous connaissez M. CADIERGUES de longue date, je n'ai pas besoin de vous le présenter. Il fait partie, avec M. FOURNOL, de « l'aile scientifique marchante » de notre profession et je crois qu'il y a lieu de se féliciter de le voir aborder des problèmes très complexes avec un souci de rigueur mathématique et scientifique qui ne peut qu'aider à les clarifier, sous réserve bien entendu qu'on ne perde pas contact avec la pratique.

INTRODUCTION

Avant d'aborder le cadre précis de nos travaux de 1951, j'ai pensé qu'il n'était pas sans intérêt de préciser la position de notre Comité dans l'organisation des recherches françaises.

En face du *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*, organisme d'état chargé jusqu'à un certain point de l'intérêt direct des « consommateurs d'habitation » et des *Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics*, dont la désignation même précise les limites d'activité, il y a place en effet, je crois, pour une organisation qui fournisse aux techniciens du bâtiment, aux installateurs, aux ingénieurs et même aux architectes, la documentation technique en chauffage et conditionnement d'air indispensable à chacun d'eux. Cela exige le dépouillement d'une documentation énorme et éventuellement des recherches et études de chantiers, et non pas seulement de laboratoire, que certes d'autres organismes pourraient entreprendre, mais pour lesquelles ils ne sont pas à proprement parler outillés.

Fondé en 1906, sous le nom de *Comité de Chauffage Eau et Vapeur*, puis devenu le *Comité Technique de l'Industrie du Chauffage et de la Ventilation*, notre Comité a publié jusqu'en 1948 six rapports que je n'ai pas à énumérer, car ils sont connus des techniciens. Il a en outre constitué, en particulier sous la direction de M. André NESSI, un fond de documentation extrêmement riche, dont nous pouvons bénéficier aujourd'hui et qui peut épargner bien des travaux inutiles. Il ne faut pas oublier non plus que, bien que mis au point en commission, le *Manuel de Calcul des Déperditions*, publié par l'A. I. C. V. F. et l'*Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics* (jadis par les Comités d'Organisation), est issu d'un travail fait à notre Comité par la regrettée Mlle Jeanne MOURET, morte en déportation à Ravensbrück.

Depuis 1951, notre Comité a pris la désignation officielle de *Comité Scientifique et Technique de l'Industrie du Chauffage et de la Ventilation*. Ce sont les travaux de ce Comité que nous allons maintenant examiner. Mon but sera de vous orienter dans l'utilisation des documents publiés, de les compléter éventuellement, et de vous signaler les études en cours.

I. — Les coefficients de rayonnement des matériaux ⁽¹⁾.

Il n'y a pas si longtemps qu'un industriel ayant peint des panneaux métalliques en peinture aluminium s'est étonné ensuite que son installation de chauffage soit insuffisante. De même la question a été posée de savoir s'il fallait peindre les plafonds chauffants, ou les radiateurs, en noir.

Tout ceci illustre l'intérêt de connaître les coefficients de rayonnement des matériaux, et c'est pourquoi M. MISSENARD et l'*Institut Technique* nous ont demandé fin 1950 de préparer une note à ce sujet. C'est cette note qui a été publiée et qui contient les valeurs probables des coefficients de rayonnement.

J'insiste sur le fait que les mesures dans ce domaine sont très difficiles, que certains résultats récents sont encore critiquables, mais surtout que de nombreux résultats anciens sont très probablement grossièrement faux. Or, la majorité des ouvrages reproduisent souvent des coefficients déterminés par d'anciennes méthodes et je déconseille très fortement d'utiliser les valeurs généralement publiées en France, et même à l'étranger : il n'y a que de très rares ouvrages récents qui tiennent compte de valeurs valables.

On sait que l'étude du rayonnement a conduit à introduire la notion de *corps dit noir*. Or la couleur n'a rien à voir dans cette question, et pour éviter des confusions dans le genre de celle de la peinture en noir des éléments chauffants, M. MISSENARD a proposé, au lieu du terme de *corps noir*, celui de *corps radiant intégral*.

C'est le corps qui émet à une température donnée le flux :

$$H_0 = 4,9 \left(\frac{t + 273}{100} \right)^4 \text{ kcal/m}^2/\text{h}$$

où t est la température en ° C.

⁽¹⁾ R. CADIERGUES, Les coefficients de rayonnement des matériaux, *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, n° 188 (mai 1951).

Un corps réel émet :

$$H = eH_0$$

où e est l'émissivité du corps considéré.

L'émissivité d'un corps est, moyennant des conditions précisées dans notre étude, une caractéristique physique importante de la surface d'un corps.

La très grande majorité des matériaux courants non métalliques ont des émissivités comprises entre 0,85 et 0,96. Il n'y a aucune relation entre la couleur et l'émissivité, certaines peintures blanches étant légèrement plus émissives que des peintures noires par exemple. Il n'y a guère en pratique qu'un cas où l'émissivité est faible : celui de l'aluminium et des vernis aluminium, et ceci malgré l'oxydation, les poussières, ou même malgré le dépolissage (s'il n'est pas très poussé). On doit donc placer ce matériau tout à fait à part.

Une analyse critique allemande de notre étude ne us a reproché de n'être pas allés jusqu'à l'application des coefficients que nous avons donnés. Ceci était volontaire, car nous savons par expérience qu'il est dangereux de faire des calculs d'échanges par rayonnement avec des coefficients aussi précis que ceux que nous avons donnés. Je vais le montrer sur un exemple.

C'est celui d'une cellule dont les parois ont une émissivité de 0,92. Si l'on fait le calcul avec cette valeur, on se trompe, car vous savez que 0,92 est le coefficient d'absorption, c'est-à-dire que le matériau absorbe 92 % et réfléchit 8 %. Du fait des phénomènes de réflexion, les parois ont finalement une émissivité apparente de près de 0,95. Cela ne fait évidemment pas une grande différence, mais serait beaucoup plus sensible pour des matériaux plus réfléchissants, et montre la difficulté d'un calcul précis. En outre, l'état du corps, humidité et poussière, peut jouer un certain rôle. Les valeurs numériques d'émissivité que nous avons données ont donc surtout un but documentaire.

D'ailleurs, les calculs d'échanges par rayonnement exigent une initiation qui, malheureusement, doit être un peu longue pour qu'elle soit utile. Nous pensons fournir prochainement un document sur ce sujet, mais, bien que nous en ayons tiré de nombreuses conséquences pratiques, il ne peut être destiné, en tant qu'outil de travail, qu'à des techniciens désirant approfondir une question technique spéciale.

En pratique, il suffit de se rappeler les conclusions que nous avons données, et qui sont essentiellement : « Ne pas peindre en général ni en noir, ni en aluminium, les surfaces de chauffe », et se méfier des raisonnements d'aspect simple faits couramment sur le rayonnement.

Remarques.

Depuis notre publication, la terminologie a subi une certaine modification :

— Ce qui était appelé radiance, symbole R , serait maintenant désigné par le terme *émittance*, symbole H (Congrès International de l'Éclairage, Stockholm, 1951);

— Ce que nous avons appelé luminance pourrait alors être désigné, conformément à la nomenclature américaine qui sera sans doute tôt ou tard adoptée : *radiance* (à ne pas confondre avec l'ancienne désignation).

Compléments.

Émissivité des peintures (X., Reduction of solar heating effects by means of paint, *Paint Res. Memo.*, 102, 1944) : les valeurs suivantes ont été déterminées par la *Paint Research Station* anglaise :

COULEUR	PIGMENT	$e(10 - 40^\circ \text{C})$
Noir.....	Noir de fumée.	0,96
Rouge.....	Oxyde de fer.	0,96
Vert.....	Oxyde de chrome.	0,95
Jaune.....	Litharge.	0,74
Jaune.....	Chrome-plomb.	0,95
Blanc.....	Oxyde de zinc.	0,97
Blanc.....	Blanc de plomb.	0,89

Émissivité de l'atmosphère (W. M. ELSASSER, Heat transfer by infrared radiation in the atmosphere, *Harvard Meteorological Studies*, n° 6, Cambridge, 1942; G. V. PARMELÉE, W. A. AUBELE, Radiant Energy Emission of Atmosphere and Ground, *Heat. Pip. Air Condit.*, 23, 120, nov. 1951).

$$e = 0,5 + 0,055 \sqrt{p}$$

où p est la pression de vapeur d'eau en millibars.

Cette valeur ne peut dépasser 0,96 (temps très court). En fait ces valeurs sont données pour une atmosphère supposée à température uniforme (la « température extérieure ») et n'ont qu'un sens indicatif et moyen.

II. — Le thermomètre à température résultante (1).

Je ne voudrais pas revenir à proprement parler sur cette étude, présentée aux dernières Journées du Chauffage, mais il m'a été posé au cours de la discussion par M. DUPUY une question qui nécessitait très normalement réponse.

Je rappelle que nous avons proposé de calculer les déperditions sur la base de la température résultante intérieure et non de la température d'air, c'est-à-dire de remplacer la formule :

$$Q = K(t_i - t_e)$$

par la formule :

$$Q = K'(t_R - t_e)$$

où t_e , t_i et t_R sont respectivement la température extérieure et les températures intérieures d'air et résultante. On m'avait bien entendu demandé de justifier ce point de vue, et je regrette que la justification n'en soit pas encore parue.

Mais elle est incorporée au document sur les échanges par rayonnement dont j'ai parlé tout à l'heure, qui est assez volumineux et qui a nécessité depuis 2 ans plusieurs retouches, mais qui sera sans doute publié vers la fin de cette année. Les études continuent sur ce point et donnent des résultats curieusement remarquables, sur lesquels je ne peux m'étendre aujourd'hui.

Ces résultats sont d'application pratique incontestable, et nous nous efforçons de les développer au cours de cette année.

(1) R. CADIERGUES, Le thermomètre à température résultante, *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, n° 216 (novembre 1951).

III. — La protection contre le gel ⁽¹⁾.

La protection contre le gel est une servitude des installations de chauffage à eau chaude qui n'est pas négligeable et, à la suite de plusieurs demandes de renseignements sur des antigels, nous avons décidé de publier une notice sur ce sujet. Le document a été scindé en trois parties :

— La première concerne l'utilisation des produits antigel;

— La seconde concerne les dispositions de protection contre le gel;

— La troisième concerne le déneigement thermique.

Je ne reviendrai pas sur la première partie à laquelle nous avons essayé de donner le caractère le plus pratique possible, à la fois pour le calcul des projets (calcul de la dose d'antigel, du volume du vase d'expansion, des tuyauteries, des échangeurs) et pour les réalisations. Tous renseignements y sont fournis, à notre connaissance, y compris les données économiques et climatologiques. On m'a reproché de n'avoir traité qu'un exemple : l'éthylène glycol, et de n'avoir pas fait place à des produits tels que le phosphate trissodique. Je le regrette, mais je n'ai pu obtenir sur ces matériaux les renseignements indispensables.

Dans la seconde partie, il nous a paru intéressant de réunir quelques dispositions de protection contre le gel, y compris la vidange, en séparant le cas des installations à arrêts prolongés et les installations à arrêts brefs. Ces détails sont loin d'être inutiles. Ils ne sont, hélas, que rarement respectés; ceci a conduit en Allemagne à la rupture de plusieurs milliers de chaudières, plus de 10 000 même, semble-t-il, avant 1940 ! Le sujet n'est donc pas négligeable bien que nous ayons un climat un peu plus doux que le climat allemand.

En troisième partie enfin, j'ai cru bon de donner des indications sur le déneigement thermique par grilles chauffantes enrobées dans le sol. J'ai donné à la fin, suivant notre principe, des indications pour l'installateur (calcul des projets et directives générales) et pour son client (conditions de rentabilité). Notre conclusion est d'ailleurs que, même en France, ce système serait assez souvent rentable. Il me paraît en tout cas regrettable que ce procédé ne soit pas appliqué dans notre pays, du moins dans certaines localités — sans le rendre obligatoire, bien entendu, comme il en est question dans certaines villes américaines — alors que ce système a été utilisé avec succès en Italie. En tout cas, si cela était dû à un manque de documentation technique, nous pensons que notre publication y aura obvié. Je dois dire d'ailleurs que nous avons reçu sur cette question des demandes de renseignements complémentaires et effectué un avant-projet de déneigement de route. Malheureusement, le déneigement thermique de route est peu intéressant : c'est un système très rarement utilisé aux États-Unis où on le réserve aux passages de piétons (trottoirs, etc.), aux entrées de garages. Le prix d'une installation de déneigement thermique de route est en effet actuellement de l'ordre de 150 fois le coût annuel du déneigement mécanique; le procédé thermique ne doit donc être réservé que pour des endroits difficilement accessibles aux chasse-neige, ou auxquels le déneigement doit être instantané et permanent.

⁽¹⁾ R. CADIERGUES, La protection contre le gel en chauffage à eau chaude et le déneigement thermique, *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, n° 239 (février 1952).

IV. — Les puissances en chauffage discontinu ⁽¹⁾.

Avec le problème dit des surpuissances, j'aborde un sujet qui a suscité bien des controverses en France, et je souhaiterais rester en dehors de ces controverses. Il s'agissait pour nous de répondre au technicien qui demande ce qu'il doit prévoir en face d'un Cahier des charges par exemple : « La mise en régime sera assurée dans un délai maximum de 3 heures, pour une occupation journalière de... etc. »

Sans vouloir m'appesantir sur la terminologie, je voudrais d'abord souligner que nous avons éliminé autant que possible le terme de surpuissance, pour parler de :

— Puissance de base P_0 : celle qui correspond au régime continu.

— Puissance totale P , correspondant au régime discontinu, égale donc à la puissance de base plus la surpuissance.

Cette distinction peut paraître très subtile, mais en fait, dans toutes les méthodes, c'est la puissance totale que l'on obtient, la surpuissance étant ensuite déduite par soustraction ($P - P_0$), et de ce fait assez peu précise. Pour traiter convenablement les résultats et en particulier leur précision, il est absolument nécessaire de considérer la puissance totale, et non la surpuissance, et ce n'est que lorsque nous nous en sommes rendus compte que la question est devenue plus claire.

L'étude que nous avons publiée a été faite avec la collaboration de M. MOREL et de M. DAUDIN. Il faut souligner d'ailleurs que l'orientation initiale de l'étude est due en grande partie à M. GIBLIN. Il s'agissait en fait d'exploiter cinquante exemples de calcul de surpuissances, effectués au Comité Technique sous la direction de M. NÉSSI par la méthode des courbes d'influence.

Je ne puis reprendre ici toute la question, et la première partie de notre étude vous montrera, s'il est nécessaire, pourquoi nous avons choisi la méthode adoptée. Vous y verrez en particulier pourquoi nous avons abandonné certaines méthodes allemandes. Je dois signaler toutefois qu'il ne nous a pas été possible de tenir compte des méthodes américaines ⁽²⁾ que nous n'avons malheureusement pas encore pu nous procurer (car elles sont parues pendant la guerre), non plus que des études anglaises, très antérieures ⁽³⁾, mais trop schématiques.

Nous donnerons toutefois, à titre documentaire, les surpuissances recommandées par le guide anglais ⁽⁴⁾, données qui semblent surtout de source empirique — ce qui ne leur enlève pas une certaine valeur.

En utilisant les cinquante exemples de calcul déjà signalés, il a été possible de mettre au point par voie statistique une méthode simplifiée de calcul où n'intervient que la surface des parois d'un local. Je ne peux insister ici sur la justification du fait que nous avons négligé le rôle de la structure des parois; je dois dire

⁽¹⁾ R. CADIERGUES, B. MOREL, M. DAUDIN, Méthode pratique de calcul des puissances en chauffage discontinu, *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, n° 51 (mars 1952).

⁽²⁾ Heat requirements tables for intermittently heated buildings, Engineering Experiment Station Bull. n° 60, College of Texas. E. G. SMITH, A method of compiling tables for intermittent heating, *Heat. Pip. Air Conditioning*, p. 386 (juin 1942).

⁽³⁾ A. F. DUFTON, The warming of a room, *Phil. Mag.*, 11, 1233 (1931); The warming of walls, *J. Inst. Heat. Vent. Engrs*, 2, 416 (1934).

⁽⁴⁾ Institution of Heating and Ventilating Engineers, Guide to Current Practice.

TYPE DE CHAUFFAGE	DURÉE de mise en tempé- rature	SURPUISSANCE pour période d'occupation de		
		7 jours par semaine	5 jours 1/2 par semaine	1 jour par semaine
Convecteurs ou ra- diateurs él. c- triques ou à gaz.	heures	%	%	%
	3	40	55	non recommandé
	6	25	40	150
Aérothermes, air pulsé en gaines métalliques pour ateliers	24	0	20	90
	3	45	60	non recommandé
	6	30	45	—
Radiateurs ou con- vecteurs à vapeur à basse pression.	24	0	20	90
	3	35	50	non recommandé
	6	20	35	—
Radiateurs ou con- vecteurs à eau chaude, avec marge de sécu- rité de chaudière de 25 %	24	0	15	75
	3	15	25	non recommandé
	6	10	15	—
	24	0	10	60

Bâtiments légers : quand l'inertie thermique est faible, comme dans certaines constructions vitrées ou à parois minces, ces pourcentages peuvent être réduits de 50 % pour l'étage supérieur et de 25 % pour les autres étages.

toutefois que ce n'est pas par principe que nous y avons été conduits, mais par étude des résultats et surtout par étude de la précision. J'insiste sur ce point, car jusqu'ici personne n'en a parlé : or il ne peut être question de comparer les méthodes entre elles que par leur précision, et non pas par des jugements qualitatifs sur les hypothèses : une méthode théoriquement bonne peut perdre ses qualités dans les applications numériques, si celles-ci ne peuvent être faites qu'avec une certaine imprécision.

Quoi qu'il en soit, nous avons choisi une méthode grossière et donné sa précision (probablement de l'ordre de 20 % sur la puissance totale) et les abaques d'application. Je pense que les techniciens qui veulent des choses simples ne peuvent vraiment pas nous demander d'aller plus loin dans la simplicité, et je dois très franchement dire que je ne croyais pas au début que nous irions aussi loin.

Nous avons tenu à fournir des renseignements à l'installateur, pour l'étude de ses projets, mais également au client pour la détermination du chauffage discontinu le plus économique. Sur ce dernier point, nous n'avons pu faire que des sondages, car manifestement la structure des parois y joue un plus grand rôle. La notion d'inertie en effet, à laquelle est liée l'économie d'un chauffage discontinu, correspond à une inertie globale des parois, et tient à leur ensemble, et non pas à leur détail de structure. Mais pour les bâtiments de sensiblement même inertie — au sens précédent — la surpuissance dépend beaucoup des pellicules superficielles internes des bâtiments, des revêtements intérieurs très isolants permettant de réduire considérablement la surpuissance. C'est

ce qui explique qu'il n'y a pas de relation étroite entre économie et surpuissance. Du point de vue pratique, le régime discontinu est donc d'autant plus intéressant que le bâtiment est moins inerte et que les revêtements intérieurs sont plus isolants.

Cette technique des revêtements isolants internes a été spécialement étudiée en Grande-Bretagne, non seulement du point de vue théorique, mais également par voie expérimentale : les essais ont confirmé les calculs ⁽¹⁾.

Je signalerai enfin que, dans la dernière partie de notre étude, nous avons donné un projet d'amélioration, avec mise au point d'un analyseur électrique adéquat. Je ne sais pas si ce projet sera réalisé ; il constitue en tout cas, à notre avis, le prochain stade à aborder si l'on veut des documents plus précis.

Je voudrais insister sur un point à mon avis important. Nous avons posé comme conditions, par exemple : 10 heures d'occupation et 3 heures de mise en régime, et ceci pour la température extérieure de base, par exemple — 7° C dans la région parisienne. Cela conduit à des surpuissances considérables, oscillant entre 40 et 170 %. On se doute bien évidemment que de telles surpuissances peuvent être difficilement rentables, les économies réalisées variant entre 10 et 44 %.

Prenons un cas très favorable, celui des économies de 40 % pour une surpuissance de 24 % (exemple 47 de nos travaux). C'est un atelier de très mauvaise isolation thermique, situé dans la région de Lille, avec des degrés-jours en chauffage continu de 1 800° C-jours. Si la mise en régime varie entre 1 heure et 6 heures, les résultats obtenus (dépense annuelle, avec amortissement de l'instal-

OCCUPATION 10 heures	DURÉE DE MISE EN RÉGIME en heures			CONTINU	
	1	3	6		
Puissance relative P/P_0 ..	1,40	1,24	1,07	1	
Dépense relative en combustible	0,56	0,60	0,71	1	
A { Amortissement de l'installation (sur 15 ans)	1,2	1,1	1	0,9	
	Dépense en combustible	2,7	2,9	3,5	4,9
	TOTAL.....	3,9	4,0	4,5	5,8
B { Amortissement de l'installation (sur 15 ans).....	2,1	1,8	1,6	1,5	
	Dépense en combustible	2,7	2,9	3,5	4,9
	TOTAL.....	4,8	4,7	5,1	6,4

Attention : ce tableau ne peut absolument pas servir à comparer les systèmes A et B.

⁽¹⁾ Pour plus de détails, voir : A. F. DUFTON, Heat Requirements of a House, *J. Inst. Heat. Vent. Engrs*, 1 (1933); M. V. GRIFFITH, G. K. MORTON, Transient flow of heat through a two-layer wall, *Proc. Phys. Soc.*, 58, 481 (1946); X., Some experiments with intermittent heating, *J. Inst. Heat. Vent. Engrs*, 14, 103 (1946); ; BEAURIENNE, Compte rendu d'essais comparatifs de mise en température, VII^e Congrès International du Chauffage, de la Ventilation et du Conditionnement de l'air, Paris (1947).

lation sur 15 ans) sont donnés par le tableau suivant, le cas A étant celui favorable au régime intermittent (aérothermes à 13 F/kcal/h, gaz à 3 F/th), et le cas B étant plus défavorable (panneaux à 22 F/kcal/h, mazout à 2 F/th).

On constate facilement que la mise en régime doit être courte avec le gaz et les aérothermes, plus longue avec le mazout et les panneaux. En fait, le bilan entre 1 heure et 4 heures de mise en régime ne fait pas apparaître de différence significative, et ceci montre bien la difficulté qu'il y a à choisir le système réellement le plus économique. Cela justifie également un peu la part d'imprécision qui règne dans ces questions.

Mais n'oublions pas que nous avons fait ces calculs par une température extérieure de -8°C . Or, le régime intermittent est-il réellement applicable dans ces conditions ? On ne peut l'affirmer, car il n'est guère possible de laisser le bâtiment au-dessous de 0° . En outre, nos calculs ont été faits en ne tenant compte que de l'inertie du bâtiment : en fait, il y a les machines qui serviront d'accumulateurs. Finalement, toutes ces conditions condamnent un peu les clauses telles que la mise en régime en 2 ou 3 heures pour la température extérieure de base. Ceci explique également pourquoi, dans la pratique, on n'installe pas les surpuissances considérables auxquelles on aboutit en théorie.

Quoi qu'il en soit, je pense que notre document peut fournir les réponses aux questions posées.

V. — La conductibilité thermique des matériaux ⁽¹⁾.

Dans ce document, établi avec le concours de Mlle GENEVAY, nous avons poursuivi plusieurs buts :

— D'abord répondre à des demandes fréquentes de coefficients;

— Ensuite remettre à jour les coefficients donnés dans le Rapport n° 2 du Comité Technique;

— Éviter enfin des erreurs dans l'utilisation des résultats de laboratoire.

Au cours de sa conférence de l'année dernière, M. BLANC avait signalé les sources d'erreurs possibles de la méthode de mesure des conductibilités thermiques des matériaux : elles sont nombreuses, et il est certain malheureusement que des essais de laboratoire ont donné des résultats très erronés. Nous l'avions signalé il y a plus de 4 ans ⁽²⁾. A cette époque, des échanges internationaux avaient été envisagés, mais peu de choses ont été faites depuis et je pense qu'il conviendra en France de normaliser les essais sans plus attendre de nouveaux travaux étrangers, les publications sur les méthodes d'essais étant actuellement suffisamment nombreuses pour qu'on connaisse les sources d'erreurs.

Ceci dit, étant donné un matériau, comment connaître son coefficient de conductibilité ? Il peut être intéressant de recourir aux résultats de laboratoires; mais, étant donné les difficultés que j'ai signalées ci-dessus, il est d'abord prudent de se faire préciser la densité, en particulier lorsqu'il s'agit de bétons légers. Le terme de « béton de pouzzolane », par exemple, est trop imprécis.

⁽¹⁾ R. CADIÈRGUES, J. GENEVAY, La conductibilité thermique des matériaux, *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, n° 52-53 (avril-mai 1952).

⁽²⁾ Ce travail a été reproduit par A. FOURNOL, dans Les méthodes d'essais thermiques des matériaux de construction au Laboratoire, *Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*, n° 6, juillet (p. XXV) (1948).

Moyennant sa densité, on trouve dans les tableaux que nous avons donnés la conductibilité du matériau donné. S'il s'agit d'un produit extrêmement nouveau, qui n'est pas spécifiquement prévu dans nos tableaux, l'utilisation d'abaques, fournis dans notre étude, permet de prévoir le coefficient probable.

Pour une densité donnée, la conductibilité thermique d'un matériau varie beaucoup avec l'humidité. C'est pourquoi, sauf pour les métaux et quelques corps tels que les textiles, utilisés exclusivement à l'intérieur, nous donnons quatre valeurs du coefficient pour un matériau de densité donnée :

— λ_s le coefficient à l'état absolument sec, qui est une valeur de référence, correspondant à l'état dans lequel devraient être faites les mesures de laboratoires;

— λ_i le coefficient correspondant à l'état presque sec, c'est-à-dire valable pour les cloisons intérieures des locaux, ou pour les parois extérieures de locaux en pays très secs;

— λ_E la valeur normale pour les murs extérieurs de nos régions tempérées;

— λ_H la valeur à l'état humide pour les murs extérieurs très humides, exposés à des pluies fréquentes — ce qui est le cas pour les murs ouest de la plupart des régions atlantiques — ou mal protégés de l'humidité du sol.

Ces valeurs sont choisies d'après nos connaissances actuelles sur la teneur probable en humidité des matériaux en œuvre. Nous avons été obligés sur ce point de choisir des valeurs un peu forfaitaires, bien qu'on ait plus de résultats expérimentaux sur ce sujet qu'on ne le croit couramment. Il n'en reste pas moins qu'il y a là pour notre pays un vaste sujet de recherches.

Je tiens à insister sur deux particularités de l'étude que je viens de vous présenter :

— Elle est essentiellement destinée au chauffage, et les valeurs correspondent à la température de 0 à 5°C ;

— Il ne s'agit absolument pas d'un ouvrage sur l'isolation thermique, sujet qui exige beaucoup plus de développement ⁽¹⁾.

Compléments.

Plâtres légers :

Les valeurs que nous avons données sont essentiellement valables pour les plâtres cellulaires. Pour les plâtres à agrégats légers, on peut prendre les valeurs suivantes :

POIDS spécifique	CONDUCTIBILITÉ (kcal/m/h/° C)			
	S	I	E	H
kg/m ³				
200.....	0,04	0,05	0,07	0,09
400.....	0,06	0,08	0,10	0,13
600.....	0,09	0,11	0,14	0,18

On y constate, comme pour les bétons, la supériorité, à densité égale, des matériaux à agrégats légers sur les matériaux cellulaires normaux.

Bois synthétiques (panneaux de fibres lourds) :

⁽¹⁾ Il sera traité en particulier dans : R. CADIÈRGUES, *Isolation et protection des bâtiments*, Collection « Traité du Bâtiment », Eyrolles, éd. (à paraître).

Remplacer le tableau donné dans notre étude par le tableau provisoire suivant :

POIDS spécifique		CONDUCTIBILITÉ (kcal m h.° C.)			
		S	I	E	II
	kg/m³				
Isorel mi-dur	700	0,07	0,08	0,08	0,09
	800	0,08	0,09	0,09	0,10
	900	0,09	0,10	0,11	0,11
	1 000	0,10	0,12	0,12	0,13
Isorel dur...	1 100	0,11	0,13	0,13	0,14

VI. — Problèmes acoustiques du chauffage et du conditionnement d'air ⁽¹⁾.

Différentes questions posées, ainsi que le contrôle d'une installation de conditionnement soumise à un Cahier des charges comportant des spécifications acoustiques précises, nous ont conduits à penser que ce sujet valait d'être exposé dans la limite de nos connaissances actuelles. Je n'insisterai pas sur cette question, qui a fait l'objet d'une conférence de l'A. I. C. V. F., portant sur le rôle des installations thermiques dans l'isolation acoustique, la réduction du bruit et des vibrations engendrées par ces installations, et le traitement acoustique par panneaux perforés chauffants.

Je voudrais simplement redire ici que les Cahiers des charges sont souvent très dangereux parce qu'ils imposent des conditions acoustiques, soit inutiles, soit exagérément coûteuses, et, dans la généralité des cas, impossibles à contrôler. Notre but, dans cette étude, a donc été de nous adresser au moins autant aux ingénieurs-conseils qu'aux installateurs, et nous avons même rédigé une partie spéciale de recommandations pour ces ingénieurs-conseils : cette partie, qui n'a pas fait l'objet d'exposé public, est en cours d'impression. Il faut à tous prix éviter ce que nous avons constaté : un niveau maximum en phone dépassé dans la chaufferie alors que les appareils de chauffage et les pompes ne sont pas en fonctionnement et qu'il y a seulement deux personnes qui y bavardent tranquillement. Dans un tel cas, le contrôle est plus dangereux pour l'ingénieur-conseil... que pour l'installateur !

⁽¹⁾ R. CADIERGUES, Intervention du chauffage et du conditionnement d'air dans l'acoustique du bâtiment, *Chauffage, Ventilation, Conditionnement de l'air* (1952).

VII. — Autres études.

Je n'ai parlé jusqu'ici que d'études publiées. En fait, nous en avons entrepris bien d'autres depuis le début de 1951, où nous fonctionnons sur de nouvelles bases, puisque notre programme a comporté plus de vingt sujets de recherches dont quelques-uns seulement sont terminés.

L'une des premières études a été celle de la ventilation naturelle, qui nous a conduits à mettre au point un procédé de mesure dont M. LÉVÊQUE vous parlera ⁽¹⁾, mais qui nous a conduits également à faire une étude poussée de nos connaissances actuelles sur la perméabilité à l'air des matériaux et des structures. Cette question a été depuis regroupée, en dehors du problème de la ventilation naturelle toujours à l'étude dans un travail consacré à la perméabilité aux gaz et aux vapeurs des matériaux et des structures. Cette notion n'est en effet pas seulement utile pour les calculs de ventilation, mais également pour ceux de mise en pression, comme on le demande pour certains locaux, et comme on le demandera peut-être de plus en plus si la tendance américaine à faire de la pressurisation une branche courante du conditionnement d'air continue à se développer.

Outre d'autres études, légèrement abordées, je signalerai une étude sur le tartre, le détartrage et le traitement des eaux. Nous avons en cours non seulement des recherches diverses, mais une grande enquête sur ce sujet, particulièrement consacrée aux installations basse pression et aux services d'eau chaude. Je me permets de profiter de cette tribune publique pour inviter les exploitants de procédés de détartrage ou de traitement des eaux à se mettre en relation avec nous s'ils n'ont pas été touchés par notre enquête.

Je voudrais enfin signaler une autre étude, celle des dispositifs de sûreté hydrauliques en vapeur basse pression. Cette étude, qui a été demandée par l'Institut Technique, a assez mal réussi — je dois l'avouer — ; c'est pourquoi elle ne fera pas l'objet d'une publication séparée, mais sera annexée à la présente publication, de façon que la documentation réunie puisse servir aux techniciens en attendant que des études expérimentales permettent éventuellement de lever les incertitudes assez graves qui subsistent.

⁽¹⁾ R. CADIERGUES, P. LÉVÊQUE, La mesure de ventilation par traceurs radio-actifs, *Chaleur et Industrie* (janvier 1952).

LES DISPOSITIFS DE SURETÉ HYDRAULIQUES EN CHAUFFAGE A VAPEUR BASSE PRESSION

par R. CADIERGUES.

Avant-propos.

Dans une lettre à *Chaleur et Industrie* [8] ⁽¹⁾, M. MISSENARD, exposant un cas de rupture d'une chaudière basse pression, soulevait la question de la conception et du calcul de l'appareil de sûreté hydraulique des chaudières à vapeur à basse pression, reconnaissant d'ailleurs que la majorité des systèmes donnaient satisfaction.

Ultérieurement, M. MAUBOUCHÉ [9], dans sa réponse à la lettre de M. MISSENARD, faisait ressortir un certain nombre d'erreurs qu'il avait pu constater dans des installations d'appareils de sûreté hydrauliques.

Au cours d'une discussion de l'A. I. C. V. F., M. PRUD'HON, ayant été conduit à développer ses idées sur le dispositif, publiait par ailleurs sur ce sujet un article très détaillé [11].

Entre temps, M. FICHARD avait envisagé à la suite de ces discussions de faire étudier expérimentalement cette question [10], pour répondre en particulier au souci de M. MAUBOUCHÉ. La publication de M. PRUD'HON ne faisait d'ailleurs que renforcer la nécessité d'une étude, car cette publication concluait à la nécessité d'un dispositif particulier (dit à retour d'eau différé) alors qu'en fait des dispositifs tels que ceux de la ville de Paris (qui ne paraissent pas à retour différé) semblaient avoir donné partout satisfaction, ainsi que l'avait fait remarquer M. HUBIE [10].

L'*Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics* nous ayant demandé d'entreprendre cette étude, M. DUPRÉ fut chargé d'une enquête auprès des Services de la ville de Paris, qui ont la charge de soixante-quatre installations, comportant pour la très grande majorité, le dispositif « ville de Paris ». Pratiquement, dans tous les cas, ce dispositif avait donné satisfaction.

Par ailleurs, paraissait en Allemagne [12] une étude extrêmement intéressante sur les dispositifs de sûreté hydrauliques, qui nous conduisit à reprendre complètement la documentation sur ce sujet. L'Allemagne a en effet normalisé [2] ces dispositifs dans un texte très précis, mais aussi très critiquable. D'ailleurs, la première édition de cette norme (1935) a été complètement révisée 1 an après sa parution et fortement modifiée, mais n'en a pas moins suscité sous sa nouvelle forme des critiques répétées. Dans les pays anglo-saxons, l'utilisation du dispositif hydraulique paraît exceptionnelle.

La contradiction entre les raisonnements logiques de tous les auteurs et l'observation pratique nous avait conduits d'ailleurs à envisager une disposition expérimentale, par des dispositifs réalisés en verre Pyrex et

cinématographie rapide, avec éventuellement coloration des eaux. Cette étude expérimentale a été finalement abandonnée, par manque de moyens matériels, mais aussi parce qu'entre temps, nous étai apparue une explication logique des contradictions apparentes. Et cette explication réside essentiellement dans le principe suivant : l'analyse statique du dispositif de sûreté est trop simpliste; il faut tenir compte des phénomènes dynamiques, ce principe montre en particulier que le dispositif de la ville de Paris est en réalité « à retour différé », contrairement à ce que laisse croire un raisonnement statique.

Mais le problème posé ne peut se satisfaire de vérifications scientifiques seules, car notre but est de fournir en fin de compte des directives pratiques. C'est pourquoi, après avoir analysé le dispositif sous tous ses aspects, en profitant au maximum de l'expérience des ingénieurs et installateurs, nous voulions donner des directives précises. On verra pourquoi la confiance ne peut être actuellement que très limitée en de telles directives.

I. — Rôle du dispositif de sûreté et choix de la pression limite.

On pourra se reporter à l'étude de M. PRUD'HON [11] pour des renseignements plus détaillés sur cette question. Rappelons toutefois que le rôle essentiel est de s'opposer à une élévation de pression incompatible avec la sécurité; mais que pratiquement on lui assigne en général pour mission complémentaire de s'opposer aux perturbations de fonctionnement provoquées par les surpressions. La réglementation concernant ce dispositif a été exposée très exactement dans l'étude citée [11], et comporte la circulaire du 8 juillet 1903, le décret du 9 octobre 1907, le décret du 2 avril 1926 et, surtout, la circulaire du 25 novembre 1929.

La pression limite H , c'est-à-dire celle à laquelle doit fonctionner le dispositif de sécurité, a été donnée par M. PRUD'HON [11] en fonction de la pression de service, par des règles assez complexes et avec des majorations souvent élevées par rapport à la pression de service p . La règle adoptée par la ville de Paris en général ($H = 1,25p$) paraît également conduire à des marges un peu fortes.

Nous proposons de calculer la pression limite H sur la base adoptée par la norme allemande, en fonction de la pression de service p :

$$\begin{aligned} 1^{\circ} \quad p < 200 \text{ g/cm}^2, & \quad H = p + 20 \text{ g/cm}^2; \\ 2^{\circ} \quad p > 200 \text{ g/cm}^2, & \quad H = 1,1p. \end{aligned}$$

Ces chiffres correspondent aux ordres de grandeur utilisés par bien des installateurs.

⁽¹⁾ Les numéros entre crochets se rapportent à la bibliographie (voir fin de publication).

II. — Différents types de dispositifs.

a) Tube de sûreté simple.

Ce tube (fig. 1), utilisé dans les premières installations de vapeur basse pression, était fixé directement sur la chaudière. Il s'agit d'un tube d'une hauteur égale à la pression limite. On plaçait ce tube à au moins 10 cm des parties les plus hautes exposées au feu. Ce dispositif, qui était à la rigueur admissible avec les anciennes chaudières à grand volume d'eau, ne peut être acceptable dans les chaudières modernes, par suite du risque de vidange totale de l'eau de la chaudière. La figure 1 constitue d'ailleurs un simple schéma de principe; il est évident en particulier que le dispositif est trop haut pour la majorité des chaudières. Aussi a-t-on très tôt remédié à cet inconvénient par le dispositif suivant.

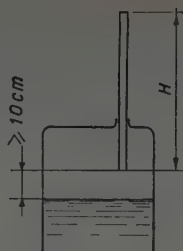


FIG. 1.

b) Tube en U simple.

Dans ce dispositif (fig. 2), on utilise un tube en U rempli d'eau. La longueur H (en cm) est égale à la pression limite (en g/cm²). Ce système permet de ne pas dépasser cette pression limite, mais dès qu'elle est atteinte, l'eau de garde est chassée et le dispositif présente les mêmes dangers de vidange de la chaudière que le système précédent. C'est pourquoi la circulaire du 25 novembre 1929 précise que : « le système doit être complété par un dispositif de retour d'eau, ramenant automatiquement l'eau chassée par l'excès de pression et assurant le réamorçage du tuyau d'équilibre ». Ces dispositifs à retour sont ceux que nous allons maintenant étudier.

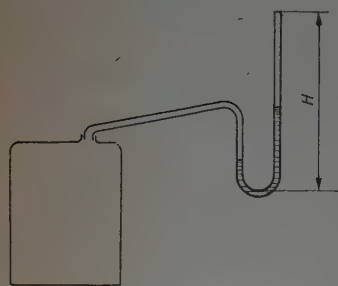


FIG. 2.

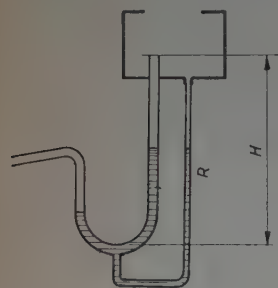


FIG. 3.

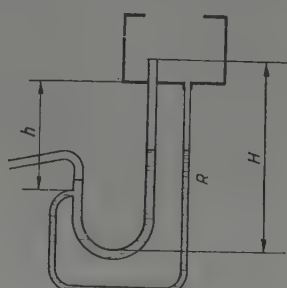


FIG. 4.

c) Tube en U à pot d'échappement.

Si l'on place un vase à l'extrémité de la branche ascendante du tube en U (fig. 3 et 4), lorsque la pression augmente et réussit à chasser l'eau du tube de sûreté, celle-ci retombe dans le vase où elle s'étale. Si le fond du vase est relié au tube de sûreté par un tube de retour (tubes R des figures 3 et 4), l'eau chassée dans le vase peut retourner dans le tube de sûreté dès que la pression est redevenue normale dans l'installation.

Le tube de retour (ou de réamorçage) peut être conduit à différents points du tube en U. Lorsqu'il est conduit à la partie inférieure de ce tube en U (fig. 3), on a un dispositif que nous appellerons à *réamorçage instantané*. Cette expression signifie — et cette propriété est évidente sur la figure — que, dès que l'eau de garde est chassée, le tube de sûreté se réamorce. Pour diverses raisons, que nous expliciterons, on recommande souvent de brancher la conduite de réamorçage par exemple tel qu'il est indiqué figure 4, ce qui conduit à un *réamorçage différé*, c'est-à-dire que le tube de sûreté ne se réamorce qu'à une pression inférieure à H .

d) Tube en U à pot d'échappement et échappement préalable.

On a cherché à améliorer le dispositif en utilisant un tube d'échappement préalable, c'est-à-dire en faisant fonctionner le système avant de parvenir à la pression limite H . Pour cela, il suffit par exemple de disposer un tube tel que le tube P de la figure 5, placé de façon à ce que la vapeur s'échappe par ce tube à une pression légèrement inférieure à H .

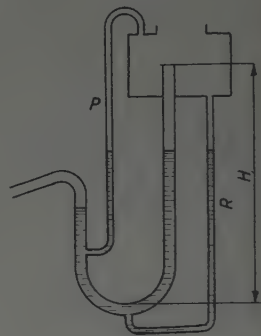


FIG. 5.

e) Tube de sûreté à deux vases.

Au lieu d'avoir un tube en U, on peut disposer d'un vase inférieur jouant un rôle analogue à celui de la partie inférieure du tube en U normal, et pouvant se réamorcer par le tube R (fig. 6).

f) Tube en U à branches multiples.

Au lieu d'un tube en U simple, on peut utiliser un tube en U à branches multiples, tel que celui de la figure 7, qui peut être prévu à retour instantané ou différé.

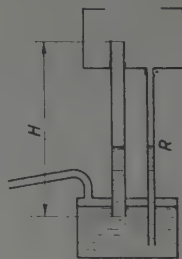


FIG. 6.

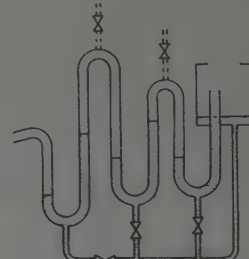


FIG. 7.

III. — Choix du type de dispositif.

Les schémas des figures 1 et 2 sont à éliminer pour diverses raisons qui ont été précisées ci-dessus. Le schéma de la figure 6 n'a aucun avantage de principe, ni d'exécution, par rapport aux schémas des figures 3, 4 et 5, et nous paraît sans intérêt actuel. Le schéma de la figure 7 n'est pas excessivement intéressant en France; il a été surtout proposé en Allemagne, et il faut se rappeler que dans ce pays la basse pression va réglementairement jusqu'à 1/2 hpz, ce qui entraîne de grandes hauteurs avec le tube de sûreté en U simple.

Nous nous limiterons donc aux schémas des figures 3, 4 et 5. Nous donnerons toutefois en compléments des détails sur le schéma de la figure 7 (branches multiples), de façon à faciliter son emploi éventuel.

Que le dispositif soit à branches simples ou multiples, on a en fait à prendre position sur deux principes : le retour doit-il être différé ou instantané ? Doit-il y avoir un échappement préalable ?

a) Choix du retour différé.

Les figures 3 et 4 donnent respectivement le schéma d'un système fonctionnant à réamorçage différé. De longues discussions ont eu lieu en France sur ces systèmes. Les partisans du système à réamorçage différé prétendent essentiellement que le réamorçage instantané provoque un barbotage continu par entraînement d'eau, dû à ce que, au point le plus bas du tube de sûreté (fig. 3), l'eau a tendance à se réintroduire par le tube de réamorçage au moment de l'échappement de la vapeur à la pression.

Les partisans du système qu'ils appellent « instantané » opposent les arguments suivants :

a) Il se produit entre le désamorçage et le réamorçage, une perte de vapeur importante; or il faut éviter d'avoir des dégagements de vapeur trop importants;

b) Les installations à « réamorçage instantané » du type « ville de Paris » (fig. 8) n'ont pas présenté le prétendu défaut de barbotage.

A ces arguments, nous ajouterons :

a) Que si le réamorçage se produit à une pression peu éloignée de la pression H , l'échappement de vapeur est en général réduit;

b) Les installations de la ville de Paris ne fonctionnent pas à réamorçage instantané, mais à réamorçage différé (pression de réamorçage de l'ordre de $H - 15$ à $H - 20$), et cela pour la raison suivante : lorsque l'échappement de vapeur se produit par le tube ABE, il y a un phénomène dynamique dans le coude B, qui (renforcé par le faible rayon de courbure des filets) provoque une force centrifuge qui agit sur la colonne d'eau BC. Dans les conditions pratiques, le réamorçage est différé, par suite justement de cette pression « dynamique » qui s'ajoute à la pression statique. Et c'est en particulier une des raisons de piquer le tube BE perpendiculairement au tube ABC, ce qui réduit le rayon de courbure en B et augmente la force centrifuge. En outre, il est certain que le courant de vapeur qui s'échappe vaporise une partie importante de l'eau de garde, et réduit ainsi la pression de réamorçage. On peut donc, sous réserve d'examen pratique, adopter le dispositif de la ville de Paris à retour différé, bien que dit « à retour instantané ».

b) Échappement préalable.

Au schéma de la figure 5, nous avons donné un dispositif qui fonctionne avec échappement préalable, c'est-à-dire à une pression inférieure à la pression limite H . D'après notre enquête, il paraît difficile de prétendre que ce dispositif soit indispensable, bien que SCHMITZ l'ait considéré comme tel [12], proposant d'ailleurs un dispositif plus simple (fig. 9), qui provoque un barbotage qui attire l'attention dès que l'on atteint la pression H' (fig. 9). En fait, un échappement préalable n'est justifiable que s'il attire l'attention du chauffeur, et, dans ce cas, on doit à notre avis préférer le dispo-



Fig. 9.

sitif de la figure 10 suggéré par M. DUPRÉ. Ce dispositif fonctionne avec un élément avertisseur (sifflet ou sonnerie électrique) dans le cas de conduite manuelle, ou est relié à un dispositif de commande automatique, qui peut être simplement un régulateur de combustion contrôlé par un thermostat fonctionnant par exemple dès qu'on dépasse 80°C (échappement de vapeur).

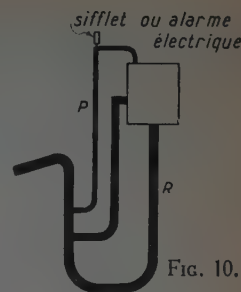


Fig. 10.

IV. — Détails de réalisation.

a) Séparateur.

Lorsque la vapeur débouche du tube de sûreté, ou du tube d'échappement préalable, dans le pot, il est souhaitable que le dispositif soit conçu de façon à obtenir une bonne séparation de l'eau et de la vapeur. La figure 11 montre différents dispositifs permettant d'assurer cette séparation.

Le dispositif 11 a, utilisé dans les installations de la ville de Paris, consiste à construire le tube d'échappement en angle droit avant le pot d'échappement. Le dispositif 11 b consiste à faire arriver le tube d'échappement tangentiellement au pot. Le dispositif 11 c consiste à recouvrir l'arrivée de la vapeur d'une plaque séparatrice. Les dispositifs 11 a et 11 c tendent à provoquer la séparation par choc, alors que le dispositif 11 b utilise la force centrifuge. Il semble que le dispositif 11 b soit préférable à l'utilisation du choc favorisant l'entraînement d'eau par la vapeur.

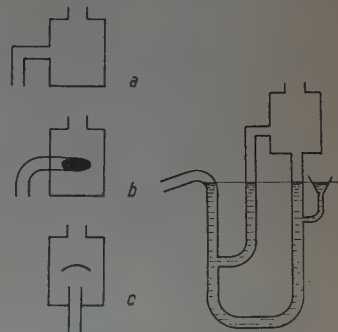


Fig. 11.

Fig. 12.

b) Remplissage.

Le schéma de remplissage est donné par la figure 12. Lorsque l'installation ne fonctionne pas, l'eau doit se trouver dans tous les tubes au niveau n . Pour cela, il est nécessaire de remplir convenablement le dispositif, en branchant sur le tube un petit entonnoir placé sensiblement au niveau n . On peut également prévoir une liaison mobile (tube en caoutchouc) avec le réseau d'alimentation en eau.

c) Échappement de la vapeur.

Le vase séparateur doit être ouvert sur l'extérieur. Cette ouverture du vase n'a pas fait l'objet d'études très approfondies et on se contente en général d'une tuyauterie quelconque, dirigeant la vapeur vers l'extérieur du pot. Il nous paraît intéressant cependant de souligner que cet élément peut provoquer des pertes de charge supplémentaires, qui sont, soit coûteuses lorsqu'on veut utiliser un dispositif convenable, soit dangereuses lorsqu'on n'y fait pas attention. Sur le schéma précédent, l'échappement de vapeur a été représenté par une simple ouverture du pot. Lorsqu'il s'agit de chaudières de faible puissance, ou lorsque la chaufferie est de grand volume,

on peut pratiquement opérer de cette manière, à condition de placer au-dessus de l'ouverture du pot un couvercle qui évite la chute dans ce pot de particules diverses. Lorsque la chaufferie est mal ventilée, c'est-à-dire lorsqu'un dégagement de vapeur important est à craindre dans la chaufferie, il faut que le pot soit ouvert sur une conduite de ventilation, ou éventuellement sur l'extérieur.

d) Trop-plein.

Pour comprendre le fonctionnement réel des dispositifs de sûreté, il est bon de ne pas oublier que la colonne d'eau est en présence de vapeur aussi bien pendant le fonctionnement normal que pendant l'échappement et que, de ce fait, la colonne d'eau n'est pas invariable au cours du fonctionnement du chauffage.

Les condensations l'emportant nettement sur l'évaporation, cette colonne d'eau a tendance à s'augmenter. Si, dans ces conditions, aucune disposition particulière n'est prévue, le dispositif risque en principe de fonctionner pour les pressions limites supérieures à la limite H qu'on s'est fixé; c'est pourquoi il a paru bon à certains techniciens que le pot comporte un tube de trop-plein qui évite d'avoir des colonnes d'eau donnant des pressions limites trop supérieures à H . Ce principe n'a pas reçu toutefois de confirmation expérimentale nette; il semble bien que, dans de nombreux cas, on puisse s'en dispenser. C'est en particulier ce qui se passe dans les dispositifs de la ville de Paris, auprès desquels nous avons enquêté et qui donnent entière satisfaction. Il est bon toutefois de souligner que donner satisfaction veut dire dans ce cas ne pas avoir d'accident, et ne veut pas dire que l'installation fonctionne à la pression limite qu'on s'était fixée. Notre enquête ne nous a d'ailleurs pas permis de savoir à quelle pression limite les dispositifs fonctionnaient, bien qu'il soit certain que la quantité d'eau de garde varie assez peu dans ces installations.

e) Branchement sur la chaudière.

La circulaire actuellement en vigueur précise que le dispositif doit être greffé directement sur la chaudière, sans interposition d'organes de fermeture.

Il paraît souhaitable que l'on puisse brancher l'appareil non directement sur la chaudière, mais sur la tuyauterie de départ de la vapeur (bien entendu avant toute vanne). En effet, soit par manque d'orifice adéquat, soit par suite d'obstacles naturels, il est assez souvent difficile de piquer le tube de sûreté directement sur la chaudière elle-même.

Pratiquement d'ailleurs, le piquage sur la tuyauterie de départ est parfaitement conforme à l'esprit de la circulaire, s'il n'y a pas d'organe de fermeture entre le dispositif et la chaudière, aucun expert ne pouvant prétendre qu'il y ait une différence quelconque de sécurité, ou de fonctionnement, avec le piquage direct sur le corps de la chaudière.

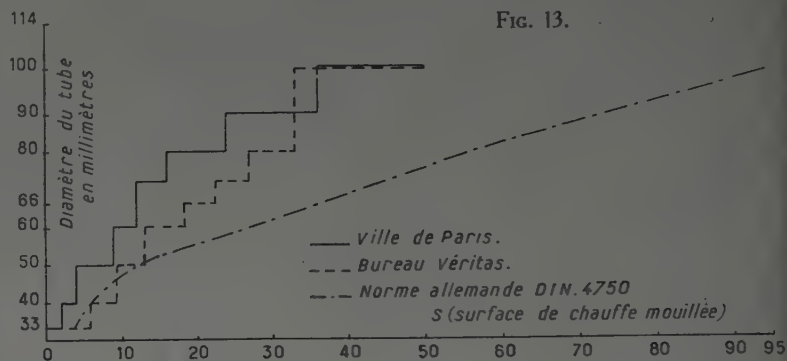
f) Protection contre les dépressions.

S'il intervient une dépression, par suite d'un départ intempestif de vapeur ou d'un ralentissement brutal de combustion, le dispositif peut être vidé vers la chaudière. Il semble que ce cas soit très rare, sinon il conduirait à des remplissages fréquents. En fait, ce phénomène n'est pas dangereux puisque la vapeur s'échappera immédiatement et fera fonctionner le dispositif d'alerte. ZELLER [1] a proposé une disposition particulière avec soupape pour éviter ce phénomène. Elle ne nous paraît pas utile.

Ne nous paraissent pas non plus utiles des dispositifs divers, assez complexes et brevetés, que nous n'envisageons pas ici.

V. — Caractéristiques dimensionnelles du dispositif.

Il est remarquable que, parmi les documents fournissant des directives sur les dimensions du tube de sûreté, l'accord ne soit pas très grand. Nous avons représenté à la figure 13, en fonction de la surface de chauffe, les diamètres recommandés par différents documents, à savoir : Norme allemande, Règles du Bureau Véritas et de



la ville de Paris; ces documents ne sont pas d'ailleurs absolument comparables parce que certains, tels que ceux du Bureau Véritas et de la ville de Paris, fournissent les renseignements en fonction de la surface de chauffe, cependant que la norme allemande fournit des directives en fonction de la puissance de la chaudière. Par ailleurs, M. PRUD'HON a fort bien dégagé la difficulté qu'il y avait à faire un calcul rigoureux des diamètres des tubes de sûreté. Il nous a paru toutefois souhaitable qu'une méthode de calcul commode des dimensions des tubes de sûreté soit mise au point, afin qu'il soit possible de donner des diamètres recommandés pour ces tubes.

Notre calcul est basé sur les hypothèses indiquées par la figure 14. Il est possible d'en déduire la longueur l du tube ABCDEF, en fonction de H . Pour calculer les pertes de charge dans ce tube, nous tiendrons compte :

— D'abord des pertes de charges par frottement tout le long de la longueur l ;

— Des pertes de charge singulières dont le coefficient de résistance ξ sera pris égal à 0,5 aux coudes B, D et F et à 1 au coude C et à l'élargissement brusque E, soit en tout $\xi = 3,5$.

Les hypothèses exactes du calcul du diamètre sont exposées dans l'article de M. PRUD'HON. Rappelons qu'on doit tenir compte du débit maximum de vapeur à la chaudière qui peut correspondre à la conjugaison d'incidents réels.

Nous désignerons la puissance de la chaudière par P (kcal/h). Si la chaudière est caractérisée par sa surface de chauffe mouillée S (m²), nous prendrons $P = 10\,000 S$.

La quantité de vapeur dégagée par heure est V (kg/h), donnée par $V = 1,86 \frac{P}{1\,000} = 18,6 S$.

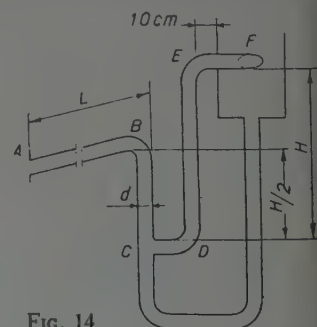
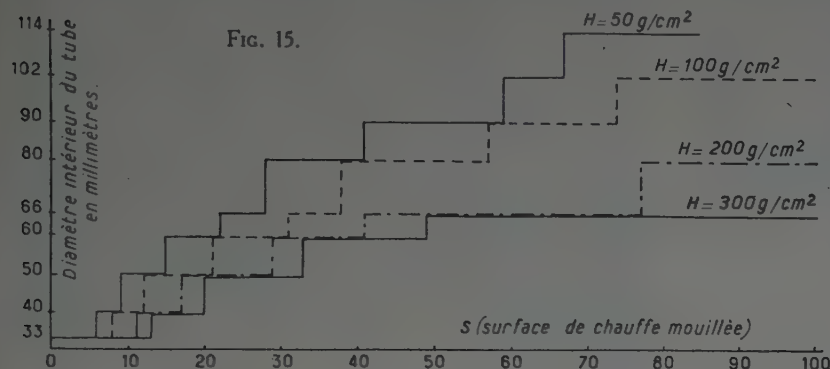


FIG. 14.

Nous nous sommes basés pour le calcul sur les tables utilisées normalement en chauffage (tables de RIETSCHEL) et nous avons alors obtenu les résultats donnés par la figure 15 pour une longueur de tube entre la chaudière et le premier coude de 1 m.

Pour connaître la validité de ces résultats, il est nécessaire de faire un calcul d'erreur. Or on ne peut guère prétendre actuellement que les pertes de charge dans un tube en acier soient connues avec une précision supé-



rieure à 20 %, ce qui ne permet pas de déterminer le diamètre avec une précision meilleure. On remarquera que les diamètres des tubes commerciaux varient sensiblement dans la proportion 1,2, c'est-à-dire que lorsqu'on trouve un tube de 60/70, par exemple, on pourrait avoir un tube de 50/60 ou de 66/76 qui aille aussi bien, sans qu'on le sache, car la précision est insuffisante. C'est une incertitude tout de même assez grave. Il n'est pas possible de la lever expérimentalement aussi facilement qu'on pourrait le croire : ainsi que nous l'avons dit, nous pourrions entreprendre des essais avec tube Pyrex, mais ces essais ne pourraient servir à la détermination du diamètre des tubes, car la rugosité du Pyrex est très différente vraisemblablement de celle des tubes en acier.

Pour connaître également la validité du calcul, il est nécessaire de s'assurer des hypothèses. Celles-ci sont : débit maximum de vapeur de la chaudière, et maintien de la pression H de désamorçage [11]. Or, nous allons voir que ces conditions risquent de n'être pas les plus sévères, et pour cela il nous faut étudier un point absolument fondamental : l'évolution de l'eau de garde dans le dispositif.

VI. — Évolution de l'eau de garde du dispositif.

Nous ferons le raisonnement pour une pression H de 330 g/cm² (ordre du maximum légal). Lorsque le système est à une pression inférieure à cette valeur, on a une disposition telle que celle de la figure 16 a. On aura alors, au point M, condensation sur l'eau froide, plus ou moins partiellement compensée par les évaporations au point N. Peut-on vraiment penser qu'il y ait compensation ? Sinon on comprendra facilement que l'eau de garde s'accumulera, et si la pression dans la chaudière croît progressivement on pourrait facilement dépasser la pression H (fig. 16 b). Cela ne peut se produire que si l'eau ne peut réellement

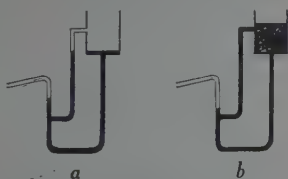


FIG. 16.

s'accumuler dans le pot d'échappement, et il n'en est réellement ainsi que parce que cette eau est chaude et qu'elle s'évapore sur une assez grande surface. On ne voit pas quel autre phénomène serait susceptible de limiter l'eau de garde à une quantité compatible avec son fonctionnement. Mais ce phénomène fait de la dimension horizontale du pot une donnée importante. Il est évidemment extrêmement difficile de le calculer, et on doit donc se contenter de données empiriques. Les appareils de la ville de Paris semblent en tout cas fonctionner assez normalement de ce point de vue.

Voyons maintenant ce qui se passe au cas où le dispositif fonctionne à la pression $H = 330$ g/cm², c'est-à-dire si la vapeur s'échappe dès qu'on atteint cette pression. Supposons que la chaudière ait 40 m² de surface de chauffe mouillée et 730 litres de contenance en eau, la température de l'eau étant de 107,5° C (pression de 1,33 atm). Lors de la vidange, il y a baisse de pression, baisse qui ramène la température de l'eau à 100° C et qui conduit à une perte de chaleur par évaporation de 5 800 kcal, correspondant à plus de 10 kg de vapeur, soit près de 16 m³. La puissance normale de cette chaudière est de 280 000 kcal/h, soit plus de 13 m³/mn (520 kg/h) de vapeur. Si la vidange est rapide, il y a évidemment un dégagement extrêmement important de vapeur d'eau, par exemple pour une vidange de 1 mn 16 + 13 = 29 m³, ce qui n'est matériellement pas possible sans entraînement d'eau, provoquant des pertes considérables. Or on ne peut pas non plus calculer ces pertes, et l'on voit apparaître une deuxième caractéristique essentielle : la durée de vidange pour laquelle on ne peut guère avoir que des indications empiriques. En outre, l'étude que nous venons de faire, montre que la production de vapeur au moment de la vidange peut nettement dépasser (ainsi que la pression) les valeurs attribuées normalement à la chaudière.

Cela constitue un élément de critique très grave au procédé de calcul des diamètres, et on pourrait en déduire qu'il serait souhaitable de donner des diamètres plus élevés que ceux auxquels le calcul conduit finalement. Cela conduirait, aux pressions élevées de 1/3 hpz pour lesquelles le dégagement de vapeur est important, à des diamètres dangereux, car il y aurait des pertes d'eau considérables, elles le sont même déjà certainement pour les diamètres calculés.

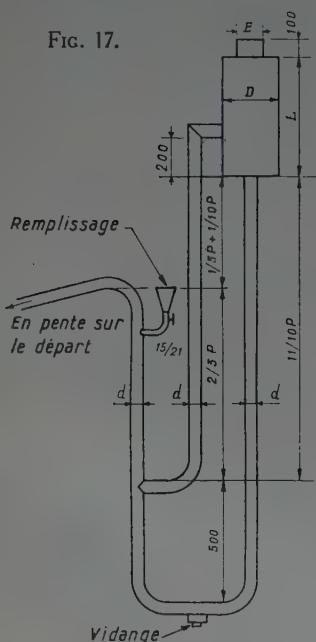
Pratiquement d'ailleurs, ce qu'on cherche, ce n'est pas tellement l'évacuation de vapeur, mais un arrêt de la perturbation d'origine si celle-ci est momentanée, ou un avertissement de sécurité au cas où la source de désordre pourrait persister. Ce qu'il faut éviter, c'est donc un fonctionnement trop fréquent du dispositif de vidange qui provoquerait certainement des pertes d'eau appréciables (par vaporisation consécutive à la chute de pression). Pour obtenir un rythme de répétition plus faible, il apparaît intéressant d'augmenter le temps de vidange. C'est ce qui se passe si on choisit les diamètres assez « justes ». Supposons que la vidange ait lieu en 10 mn, il sera expulsé par minute 14,6 m³ au lieu de 29 m³ en cas de vidange en 1 mn. Cela correspondra tout de même à une évacuation de 95 kg de vapeur, soit 100 litres d'eau pour une contenance de 730 litres. C'est évidemment assez dangereux.

En fin de compte, du fait des imprécisions de calcul, et de la discontinuité des dimensions commerciales de tubes, le choix pratique que l'on peut faire d'un diamètre de tube de sûreté se répercute essentiellement sur la durée

de vidange. Il faut de toutes façons qu'un dispositif d'alerte soit prévu, de façon à éviter la vidange des chaudières, particulièrement des chaudières en fonte.

Examinons enfin une autre difficulté : lorsque le dispositif a fonctionné, il s'échappe un jet de vapeur qui peut vaporiser une partie de l'eau de garde; il y a donc modification de la quantité d'eau, il peut dès lors y avoir au moment du réamorçage une pression de fonctionnement plus ou moins nettement inférieure à la pression théorique H . Cela ne semble pas avoir été constaté avec les appareils de la ville de Paris, qui paraissent assez stables, mais c'est là également une source d'incertitude qui ne peut être actuellement levée par voie théorique.

De cette discussion critique, il nous apparaît nécessaire de ne retenir actuellement que des dispositions ayant donné satisfaction. Le dispositif de la ville de Paris étant connu, il nous paraît intéressant de le conserver jusqu'en ses détails; on en trouvera les caractéristiques à la figure 17.



CHAUDIÈRE S = surface de chauffe mouillée	d	D	E	L
	mm	mm	mm	mm
$S < 2 \text{ m}^2$	33-42	200	72-82	500
$2 \leq S < 4 \text{ m}^2$	40-49	250	80-90	500
$4 \leq S < 8 \text{ m}^2$	50-60	300	102-114	600
$8 \leq S < 12 \text{ m}^2$	60-70	350	119-127	700
$12 \leq S < 16 \text{ m}^2$	72-82	400	143-152	800
$16 \leq S < 24 \text{ m}^2$	80-90	450	162-171	900
$24 \leq S < 36 \text{ m}^2$	90-102	500	180-111	1000
$36 \leq S < 50 \text{ m}^2$	102-114	500	203-216	1000

P : pression maximum en $\text{g/cm}^2 = 1,25p$ (p : pression de service).

VII. — Dispositif de sûreté à branches multiples.

Le dispositif de sûreté à branches multiples est particulièrement intéressant pour réduire la hauteur du système lorsque la pression de service est voisine du maximum légal. Pour fonctionner convenablement, les branches du dispositif doivent être calculées avec soin, et ce calcul conduit à une équation de degré égal à celui du nombre de branches. On peut se contenter du système à deux branches, qui peut être calculé assez simplement en utilisant une méthode donnée par SCHMITZ [12] (1). Une difficulté certaine de ce dispositif est le réamorçage, qui ne peut se faire automatiquement avec précision, comme d'ailleurs avec le dispositif à une branche, mais il semble que ce soit ici plus grave. On n'a pas seulement en effet une simple directive en ce qui concerne la hauteur de liquide, mais également en ce qui concerne la quantité d'air séparant les deux branches du dispositif. On semble d'ailleurs s'être plaint en Allemagne que le dispositif soit imprécis. SCHMITZ a fait des essais au manomètre pour contrôler les pressions de fonctionnement, et a vérifié les résultats, mais lorsque le remplissage était correct; or il n'a pas vérifié ensuite que le réamorçage assurait un remplissage correct, ce qui nous paraît difficile. On devra donc, en France, où notre limite légale en basse pression est assez faible, utiliser de préférence le dispositif à une branche.

BIBLIOGRAPHIE

Outre les ouvrages classiques de chauffage :

- [1] ZELLER, Erfahrungen mit Standrohrreinrichtungen für N. D. Dampfkesselanlagen, *Z. Bay. Rev. Ver.*, **40**, 161 (1936).
- [2] X., Standrohre für Niederdruckdampfkessel, DIN 4750, 2^e éd. [(traduction I. T. B. T. P., n° inconnu (1937)].
- [3] BAUER, Sicherheitsstandrohr für N. D. Dampfkessel, *Ges. Ing.*, **61**, 32 (1938).
- [3 bis] STIEGLER, Standrohre für N. D. Dampfkessel, *Ges. Ing.*, **61**, 78 (1938).
- [4] ZELLER, Bemessungen der Längen der Fall und Steigrohrschenkel der Standrohrreinrichtungen für N. D. Dampfkessel, *Techn. Überwach.*, **1**, 55 (1940).
- [5] RÖDIGER, Versuche über die Einfriergefahr von Standrohren an N. D. Dampfkesseln, *Techn. Überwach.*, **2**, 157 (1941).
- [6] CONRADT, Fehler bei der Bemessung von Sicherheitsstandrohren für N. D. Dampfkessel, *Ges. Ing.*, **65**, 428 (1942); **66**, 118 (1943).
- [7] X., Soupape hydraulique pour chaudière à vapeur basse pression, *Die Installation*, **19**, 30 (1947).
- [8] MISSENARD (A.), Sur un accident de chaudière, *Chal. Ind.*, **30**, 275 (1949).
- [9] MAUBOUCHÉ, A propos de la sécurité dans les chaudières de chauffage central, *Chal. Ind.*, **31**, 101 (1950).
- [10] HUBIE, PRUD'HON, MISSENARD, Sur un accident de chaudière, *Chal. Ind.*, **31**, 237 (1950).
- [11] PRUD'HON, Les dispositifs de sûreté hydrostatiques pour chaudières à vapeur basse pression, *Chauf. Vent. Cond.*, **27**, n° 5 (1950).
- [12] SCHMITZ, Das Standrohr der N. D. Dampfkessel, *Heiz. Lüft. Haustech.*, **1**, 139 (1950), (traduction I. T. B. T. P.), n° 290.
- [13] MAUBOUCHÉ, Les générateurs et la sécurité, *Chaud Froid*, **5**, n° 53 (1951).

(1) Ce texte a été traduit par l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics (traduction n° 290), à la bibliothèque duquel on peut consulter la traduction.

DISCUSSION

LE PRÉSIDENT. — *Je suis très gêné pour féliciter et remercier notre ami CADIERGUES puisqu'il m'a mis directement en cause. Messieurs, avez-vous des questions à poser au sujet des communications de M. FOURNOL et de M. CADIERGUES?*

M. BERTRAND. — Je voudrais poser quatre questions à M. FOURNOL.

La première question est la suivante : pouvez-vous nous indiquer la surface de chauffe du radiateur moyen de Melun qui correspond au chiffre que vous avez donné, notamment pour la consommation de combustible ?

Deuxième question : est-ce que vous pensez que les usagers de Melun seraient favorables à des essais de comptage ou de répartition individuelle que l'on pourrait tenter une autre année si le dispositif le permettait ? Je crois savoir que vous avez des installations qui peuvent se prêter à la mesure individuelle par logement.

Troisième question, qui est d'ailleurs une conséquence de la deuxième : est-ce que M. FOURNOL pense qu'en cas de répartition ou de comptage, il pourrait être logique de partir du principe de distribution suivant : régler la température générale du réseau sur le plus frileux, majorer d'un point, si l'on veut, pour bien préciser les idées, et laisser aux gens le soin d'utiliser leur fractionnement individuel de consommation à partir de ce point considéré comme un maximum ? En somme, considérer que la notion du comptage n'est pas une seule notion de mesure de quantité individuelle de chaleur mais également la possibilité d'une espèce de récupération individuelle de la chaleur consommée par chacun.

Enfin, quatrième et dernière question que je pose en même temps à M. FOURNOL et à M. FISCH, que j'ai volontairement omis de poser hier pour la poser aujourd'hui : M. FISCH est en train de faire des études ou de promouvoir des études de compteur individuel de chaleur basé sur les chiffres, les normes suivantes : précision de l'ordre de plus ou moins 5 %, prix de l'ordre de 50 000 F. Est-ce que les deux orateurs ne pensent pas qu'il pourrait être intéressant d'étudier une deuxième catégorie d'appareils que nous appelons plutôt des répartiteurs que compteurs, que l'on pourrait cataloguer de la façon suivante : précision plus ou moins 10 %, mais prix de 25 000 F ? Disons, pour fixer les idées, précision deux fois moindre mais prix également deux fois moindre. Nous dirions : répartiteurs et non compteurs. Est-ce que cela ne pourrait pas avoir de l'intérêt pour les appartements individuels et non pas pour les appartements collectifs pour lesquels les normes de M. FISCH sont indispensables ?

M. FOURNOL. — *Première question.* — La surface du radiateur installé à Melun est en moyenne de 26 m². Je précise tout de suite que cela ne veut pas dire grand-chose. L'installation de Melun est surpuissante. Si vous voulez, je vous donnerai un deuxième chiffre plus précis, en tout cas plus utile, c'est le chiffre du nombre de calories de déperdition par radiateur, soit 1 050.

Deuxième question. — Je suis très embarrassé pour vous répondre parce que j'ai l'impression que l'opinion des utilisateurs de Melun doit évoluer dans le temps et dans l'espace. En tout cas, je peux vous dire qu'ils accepteraient certainement très volontiers qu'on fasse du comptage individuel. D'ailleurs, à l'origine, l'installation a été prévue de manière à pouvoir faire du comptage individuel dans au moins le tiers des logements, c'est-à-dire dans seize sur quarante-deux.

Je me demande s'il n'y aurait pas plutôt intérêt à faire des expériences de comptage individuel sur un autre chantier que celui de Melun où nous aurions une clientèle psychologiquement un peu moins préparée. D'ailleurs, dans notre programme de recherches, il est prévu que nous devons organiser dès maintenant un essai de comptage sur une clientèle tout à fait nouvelle qui ne sera plus une clientèle provinciale. C'est ainsi qu'à Orléans, nous avons un chantier sur embryon de chauffage urbain qui est en cours de réalisation. Nous organisons la station de façon à

installer un certain nombre de compteurs non seulement pour pouvoir, au point de vue technique, comparer les divers compteurs entre eux, mais également au point de vue des incidences économiques du comptage.

Troisième question. — Le troisième point me paraît constituer une idée tout à fait intéressante, à savoir, faire une régulation sur le plus frileux, majorer d'un point et laisser au fond chaque usager faire soi-même sa régulation.

Quatrième question. — Vous m'avez demandé si, à côté de l'intérêt du comptage précision à 5 % et 50 000 F, il n'y aurait pas plus d'intérêt à considérer un comptage précision plus ou moins 10 % et prix 25 000 F.

Je suis tout à fait d'accord. Il y a là, à côté d'un intérêt théorique, un intérêt juridique : le Français désire se rendre compte de ce qu'on lui propose et proteste assez facilement lorsque ça n'est pas suffisamment rigoureux. Je me demande tout de même si, en donnant à des gens, pour faire des répartitions de chauffage, des appareils qui soient trop peu rigoureux, nous n'irons pas au devant de difficultés.

M. FISCH. — J'ajouterais seulement un mot sur la dernière question. Il est hors de doute que le répartiteur soit très intéressant, ne serait-ce que parce que c'est le seul moyen d'effectuer le comptage ou, tout au moins, une approximation de comptage sur les installations existantes qui, pour la plupart, ne se prêtent pas à un autre mode de comptage. La meilleure preuve, c'est qu'en Belgique ce système s'est énormément développé.

UN AUDITEUR. — Quelle était socialement la composition des locataires de Melun, en gros ?

M. FOURNOL. — Extrêmement variable. A Melun, la composition sociale des immeubles nous a été imposée ; il n'était pas question de faire des expériences en choisissant les locataires. Ce serait presque nécessaire, scientifiquement, mais, en tout cas, ce n'était pas possible. Disons que la composition sociale était légèrement supérieure au niveau ouvrier moyen, et en particulier au point de vue des moyens d'existence, certainement supérieure à la classe la plus défavorisée. Toutefois, elle était quand même très variable : sur quarante-huit locataires, il y en avait peut-être quatre, cinq ou six d'une classe plus aisée, des petits fonctionnaires (à petits salaires cependant). Dans l'ensemble, il y avait pas mal d'instituteurs.

M. GINI. — Je voudrais avant tout féliciter M. FOURNOL et M. CADIERGUES pour leurs exposés et leur exprimer mon admiration.

Je m'en réjouis car je me suis occupé aussi de ces questions sans pouvoir, naturellement, disposer ni des moyens mathématiques ni des moyens expérimentaux dont ont pu disposer MM. FOURNOL et CADIERGUES. Je m'en réjouis d'autant plus que les résultats de leurs expériences ont confirmé ceux que j'avais prévus et que j'avais même fait paraître dans certaines publications italiennes.

Je me permets de poser seulement une question et, en même temps, de faire une remarque : Ces Messieurs ont-ils considéré les effets de la fermeture des volets et des rideaux pour ce qui concerne la différence entre la puissance totale et la puissance de base ? En effet, d'après les études que j'ai faites et que j'ai eu récemment l'occasion d'envoyer à M. CADIERGUES, je crois que cela a une importance vraiment notable, soit dans le sens absolu, soit dans le sens relatif. Si cela n'a pas été fait, je me permets de le signaler et je serais curieux de voir si également, de ce point de vue, mes prévisions pourraient être confirmées ou non.

M. FOURNOL. — Effectivement, la fermeture non seulement des persiennes mais également celle des volets pleins a une influence, cela ne fait pas de doute. Vous savez que les Anglais, à Abbots, ont imaginé un système, malheureusement très coûteux, qui permet de noter très exactement l'influence de l'ouverture des fenêtres.

M. GINI. — Ce serait intéressant de faire des comparaisons entre les différents cas.

M. FOURNOL. — Oui, ce serait extrêmement intéressant, même du point de vue scientifique mais, pour l'instant, nous ne l'avons pas fait.

M. RABAUD. — M. FOURNOL nous a parlé de l'intermittence et nous a dit qu'elle n'avait pas une importance énorme parce qu'à 7 heures du matin, on était dans l'obligation de redonner 18° aux habitants des locaux. J'ai l'impression que 15° suffiraient car, en se levant les gens font leur toilette rapidement et s'en vont, la ménagère ouvre les fenêtres pour faire du ménage, et je me demande s'il n'y aurait pas une économie importante à faire en assurant 18° aux gens à partir de 11 h 1/2, les fenêtres étant fermées. J'ai l'impression que les gens qui sortent d'un lit avec 15° n'ont pas froid.

LE PRÉSIDENT. — Vous abordez la question du chauffage dirigé qui pourrait faire l'objet de toute une discussion. En effet, comme M. FOURNOL le disait, il est manifeste que les usagers ont tendance à choisir des températures supérieures à celles que, personnellement, je considère comme physiologiquement désirables. Le problème est le suivant : faut-il laisser les gens se surchauffer ou leur imposer un régime de chauffage ? La solution est d'ordre gouvernemental, de même qu'il y en a un de l'alcool : doit-on en laisser la vente libre ou la réglementer ? C'est de même nature. Pour mon compte, je crains que cette liberté de réglage de chauffage ne conduise à une surchauffe continue, comme en Amérique, et je considère que ce serait une catastrophe.

M. FOURNOL. — Je suis tout à fait d'accord en ce sens que la température à donner le matin est absolument capitale. Tout ce que j'ai dit tombe dans une très large mesure si, se plaçant sous l'angle des économies de chauffage par intermittence, on admet qu'entre 7 heures et midi, la température se relève lentement de 15 à 18°.

UN AUDITEUR. — Avez-vous observé que, sur la longueur d'une saison, la température de moyenne de confort a tendance à suivre une légère courbe et à monter ?

M. FOURNOL. — J'en suis convaincu mais je ne peux pas le prouver.

LE MÊME AUDITEUR. — J'ai observé ce phénomène.

M. FOURNOL. — Cela ne résulte pas des essais de Melun.

M. MARCO. — En ce qui concerne la température de confort, notamment dans les living-rooms, je crois qu'en Belgique, en général, une température de 18° serait considérée comme insuffisante, normalement. En effet, normalement, on compte environ 20°.

M. FOURNOL. — A Melun, pour les H. B. M. on se contente de calculer les installations pour 18°. A Melun, les cuisines sont encore plus chaudes que les living-rooms.

M. MARCO. — Cela prouve que l'on séjourne davantage dans les cuisines que dans les living-rooms.

En ce qui concerne la question des compteurs dont vient de parler M. FISCH, ils sont surtout employés pour les immeubles de luxe et non pas pour les immeubles bon marché car ils coûtent très cher. Le pourcentage du prix des compteurs est de l'ordre de

10 % et peut même être plus élevé. On les trouve plutôt dans les immeubles en copropriété que dans les immeubles locatifs. Celui qui construit un immeuble pour le louer cherche à réduire son prix de revient d'établissement et préfère faire une répartition forfaitaire des charges de chauffage plutôt que d'employer des compteurs qui lui coûteraient très cher. C'est un autre élément du problème qu'on n'a pas examiné hier.

Quant à la question des conduits unitaires, dont a parlé M. FOURNOL, comme l'a dit M. MISSENERD j'ai appris beaucoup de choses en écoutant M. FOURNOL, je n'ai pas eu moi-même l'occasion d'approfondir cette question, mais j'ai souvent rencontré des conduits de ce genre et je puis confirmer que, dans l'ensemble, d'après ce que j'en connais — puisque je n'ai pas fait d'enquête approfondie — ils donnaient satisfaction.

En ce qui concerne la question des conditions acoustiques dont a parlé M. CADIERGUES, il y avait des conditions acoustiques sévères dans le Cahier des charges national dont j'ai parlé il y a 2 jours ; mais elles ont été allégées dans la norme parue il y a quelques mois.

M. BERNARD. — Je voudrais simplement demander à M. FOURNOL de quelle façon les locataires de Melun payaient le chauffage et si ce paiement avait une influence sur la conduite personnelle de chaque locataire.

M. FOURNOL. — Il est certain que la façon dont paient les locataires a toujours une influence sur leur conduite, encore que je ne croie pas qu'il faille considérer ce problème-là comme essentiel.

Voici comment les locataires payaient : en ce qui concerne les « locataires au mazout », ils payaient le chauffage selon les consommations de mazout, au tarif officiel. Seulement, on les ennuyait beaucoup parce qu'une fois par jour, on passe dans leur habitation, on procède à un certain nombre de relevés et on leur demande un peu ce qui se passe, visites qui durent 10 mn à 1/4 d'heure. Pour tous ces ennuis, on leur a consenti une espèce de forfait, pas très important mais qui faisait quand même une somme intéressante. En tout cas, ils avaient, comme tout habitant de l'immeuble, une répartition au volume.

Pour les locataires chauffés électriquement, c'était beaucoup plus compliqué. On ne pouvait pas leur faire payer le prix du kilowatt-heure officiel, qui aurait été beaucoup trop cher ; on ne pouvait pas non plus les chauffer gratuitement, ce qui aurait faussé les résultats. Nous avons calculé un prix du kilowatt-heure nous-mêmes, nous le leur avons facturé de façon qu'ils payent à peu près comme les autres. Je crois que c'est ce qu'il y avait de mieux à faire, je ne dis pas que c'était parfait.

LE PRÉSIDENT. — Je voudrais un peu résumer la question. Je crois avoir compris ce que voulait savoir M. BERNARD : les locataires chauffés au mazout payaient une sorte de prix forfaitaire, et ils n'étaient pas intéressés aux économies globales. Et ceux chauffés par l'électricité ?

M. FOURNOL. — Ceux-là étaient intéressés à leurs économies individuelles en ce sens qu'ils avaient un compteur individuel chacun, ils payaient le kilowatt-heure, 2 F au lieu de 8 F.

LE PRÉSIDENT. — Différence de régime importante.

M. BERTRAND. — Le locataire le moins frileux peut être un locataire impécunieux.

M. FOURNOL. — C'est le locataire le plus frileux qui s'est chauffé à 20°,5 et ce n'était pas un fonctionnaire supérieur mais un fonctionnaire peu riche. Le locataire le moins frileux n'était pas un locataire impécunieux.

MESURE DE LA VENTILATION PAR TRACEURS RADIOACTIFS

par Ch. FISHER et P. LÉVÊQUE.

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

Nous allons entendre maintenant M. LÉVÊQUE qui va vous faire une communication sur la mesure de la ventilation par traceurs radio-actifs.

Je vous présente M. LÉVÊQUE qui est un jeune physicien du Commissariat à l'Énergie Atomique. Vous voyez qu'en France, les jeunes sciences ont pour promoteurs des gens jeunes.

La mesure de la ventilation de locaux peut être effectuée en employant des traceurs variés. Nous n'avons pas l'intention d'exposer une revue de ces méthodes; ceci ayant été fait dans l'article publié avec M. CADIERGUES dans la revue *Chaleur et industrie* [1].

L'emploi de traceurs radioactifs a été surtout envisagé à cause de la facilité de détection de tels produits en très faible quantité.

Le choix du gaz radioactif a été guidé par les considérations suivantes :

1° Le gaz « traceur » doit avoir une viscosité dynamique voisine de celle de l'air, afin d'obtenir un mélange homogène sans ségrégations notables;

2° Sa période ⁽¹⁾ doit se situer entre quelques heures et quelques jours afin, d'une part, de pouvoir effectuer les mesures, et d'autre part d'éviter une contamination trop prolongée;

3° Il doit s'obtenir facilement dans une pile atomique, afin qu'on puisse en disposer en quantités suffisantes;

4° Il doit posséder un rayonnement aisément détectable par des appareils robustes de type industriel.

Nous avons essayé le bromure de méthyle, dans lequel le brome est radioactif, et le xénon; les Anglais ont utilisé le bromure de méthyle [2] et l'argon [3]. Le tableau I donne l'ensemble des propriétés qui nous intéressent.

TABEAU I.

SYMBOLE	PÉRIODE	RAYONNEMENT		CORPS utilisé
		Nature	Énergie	
82Br	35,5 h	β^-	MeV 0,465	BrCH ₃
35		γ	0,547	
			0,787	
			1,35	
135Xe	5,3 j	β^-	0,32	Xe
54		γ	0,085	
41A	1,8 h	β^-	1,18	A
18		γ	1,3	

⁽¹⁾ La période d'un corps radio-actif est le temps nécessaire pour qu'il perde la moitié de sa radio-activité.

Le bromure de méthyle a été abandonné car il se mélange mal à l'air et nous n'avons pu obtenir des résultats utilisables. L'argon a une période trop courte; aussi avons-nous utilisé le xénon, produit de fission de l'uranium de masse 235.

I. — Préparation du xénon ¹³³Xe.

Le xénon est séparé des produits de fission de l'uranium de masse 235 [4]. Après irradiation de l'oxyde d'uranium UO₃ dans une pile atomique, celui-ci est mis en solution par attaque sulfurique. Un courant d'hydrogène entraîne les gaz (xénon radioactif, gaz occlus dans UO₃) qui sont fixés dans un piège contenant du charbon actif et refroidi par de l'azote liquide.

La purification du xénon se fait d'une part en laissant réchauffer le piège à la température ambiante et en évacuant les gaz qui se dégagent; d'autre part en libérant par chauffage les gaz restants et en les mettant en contact avec des vapeurs de calcium. Le xénon est alors de nouveau condensé sur charbon actif dans un piège analogue à celui de la figure 19 (voir plus loin).

II. — Appareils de mesure.

Nous avons utilisé une chambre d'ionisation cylindrique (fig. 18), diamètre = 0,20 m, hauteur = 0,30 m, dont les parois sont en tôle perforée. Le rayonnement β^- du xénon a une énergie de 0,32 MeV ⁽¹⁾. De tels β^- absorbés totalement par peu de matière (90 mg/cm²) parcourent à peu près 70 cm dans l'air en produisant quatre-vingts à cent paires d'ions par centimètre de parcours. Ces ions collectés par les électrodes de la chambre d'ionisation produisent un courant i qui s'écoule à travers une résistance r en donnant une chute de potentiel $E = r i$. C'est cette tension qui, après amplification (amplificateur pour courant continu fabriqué par le Commissariat à l'Énergie Atomique), est mesurée ou enregistrée.

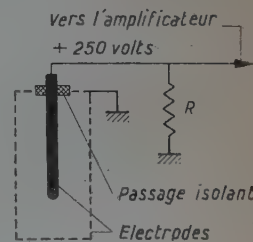


FIG. 18.
Chambre d'ionisation.

⁽¹⁾ 1 MeV = 1,6 × 10⁻⁶ ergs.

III. — Résultats et mode opératoire.

Si nous appelons R le renouvellement horaire d'air, y la concentration du traceur à un temps t exprimé en heure, et y_0 la concentration au temps $t = 0$, on a

$$\frac{y}{y_0} = e^{-Rt}$$

soit :

$$R = \frac{1}{t} \log \frac{y_0}{y}$$

La courbe obtenue expérimentalement est une exponentielle. La transformée semi-logarithmique de cette courbe est une droite dont la pente donnera R .

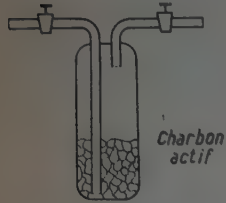


FIG. 19. — Récipient contenant le xénon.

Pour marquer l'air d'un local, il suffit de libérer le xénon du charbon actif sur lequel il a été fixé lors de sa préparation (fig. 19). Ceci se fait par chauffage. Un courant d'air l'entraîne hors du piège.

Dans nos premières expériences, l'appareil de mesure était mis en route dès la libération du xénon. Pour un local de 200 m³ possédant une bonne ventilation naturelle, le taux de renouvellement horaire mesuré était de $2,5 \pm 0,5$. Avec la ventilation forcée, il était de l'ordre de 10 à 11 [1]. Ce dernier résultat était en accord avec des mesures effectuées par d'autres méthodes. Dans l'espoir d'obtenir un mélange plus homogène, nous avons, aussitôt le xénon libéré, brassé l'air de la pièce (volume 200 m³) pendant 5 mn, par un ventilateur ayant un débit de 80 m³/mn. Après l'arrêt du ventilateur, nous avons commencé à faire des mesures. La courbe obtenue est représentée par la figure 20. D'après cette courbe, il ne semble pas que le mélange soit parfait, car d'une part la loi de décroissance n'est pas immédiatement exponentielle, et d'autre part, l'apparition de maxima donne à penser que le gaz était encore en mouvement.

Les irrégularités de la courbe proviennent de l'instabilité de la chambre d'ionisation, comme nous avons pu le vérifier dans une expérience antérieure.

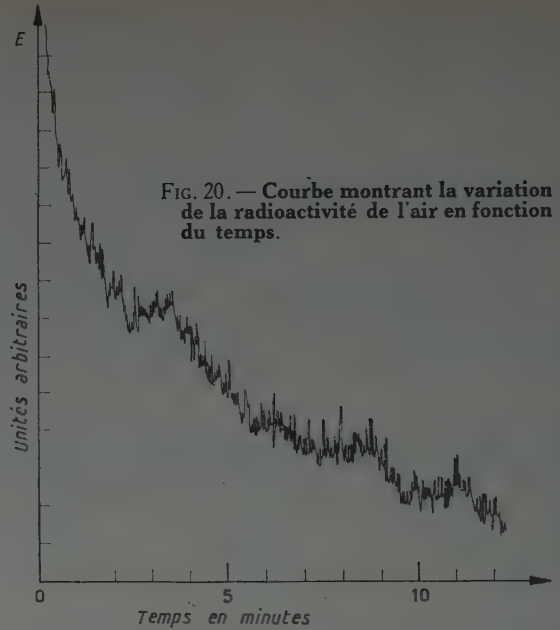


FIG. 20. — Courbe montrant la variation de la radioactivité de l'air en fonction du temps.

Ces premiers résultats donnent à penser que l'emploi de traceurs radioactifs pourra rendre de réels services dans l'étude des problèmes de ventilation. En collaboration avec les organismes intéressés, nous pourrions déterminer les véritables possibilités de cette méthode.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CADIERGUES (R.), LÉVÊQUE (P.), *Chaleur et Industrie*, **313**, 21-25 (1952).
- [2] ANONYME, *Nature*, **166**, 4222, 535-536 (1950).
- [3] SELIGMAN (H.), *Isotopes techniques*, conférence Oxford, 16-20 (juillet 1951) (à paraître).
- [4] ARROL, CHACKETT, EPSTEIN, *Can J. of Res.*, **27 B**, 757 (1949).

CONCLUSION DU PRÉSIDENT

Messieurs, je remercie M. LÉVÊQUE de sa communication très importante. Vous voyez que les nouveaux aspects de la physique ouvrent des horizons pour perfectionner nos techniques. Y a-t-il des questions à poser ?

M. CADIERGUES. — Je voudrais signaler un phénomène mis en évidence par ces courbes et qui sera probablement très important pour le problème de la ventilation et du conditionnement d'air, c'est qu'on connaît très mal la diffusion des gaz et qu'elle se fait beaucoup moins bien qu'on ne le croit. Les résultats obtenus sont très étonnants mais les lois classiques n'expliquent pas ce qui se passe.

LES RECHERCHES THERMIQUES AUX LABORATOIRES DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

par M. A. BLANC.

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

Vous connaissez M. BLANC qui est un physicien chargé des recherches aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics. Vous savez que ce laboratoire s'occupe accessoirement de recherches thermiques dans la mesure où ces recherches sont en liaison avec la construction et avec l'équipement du bâtiment.

M. BLANC nous avait tenu au courant l'an passé de l'état des recherches aux Laboratoires du Bâtiment. Il va faire le point cette année en fonction des travaux effectués depuis notre dernière réunion.

L'exposé que nous allons faire comprendra trois parties indépendantes, concernant respectivement la conductibilité thermique, la mesure des chaleurs spécifiques, la mesure de la température résultante au moyen de dispositifs enregistreurs de faible inertie.

I. — CONDUCTIBILITÉ THERMIQUE

1^o Problèmes de transmission de chaleur.

En ce qui concerne la conductibilité thermique, les notes de M. JACQ à l'Académie des Sciences ⁽¹⁾, présentées par M. DARRIEUS, nous ont suggéré une interprétation très simple, en langage électrique, de sa méthode graphique. Généralisant, nous avons transposé d'Électricité en Thermique les notions de « circuit équivalent » et de « générateur équivalent » et montré le parti à tirer du théorème de Thévenin appliqué aux problèmes de transmission de chaleur ⁽²⁾. Sur le conseil de M. RIBAUD, nous ferons de ces remarques l'objet d'une communication au *Quatrième Congrès International de Chauffage Industriel*.

L'étude du « chauffage », en régime variable, de n murs indépendants, par un nombre quelconque de sources, nous a conduit à donner d'une part, grâce à l'usage des notations matricielles, une généralisation naturelle du théorème de Thévenin et, d'autre part, indépendamment, une extension à ce cas de la méthode de résolution graphique de Binder-Schmidt ⁽³⁾. Nous renvoyons donc ceux que ces questions intéresseraient particulièrement à notre communication au *Quatrième Congrès International de Chauffage Industriel* ⁽⁴⁾. Paris, septembre 1952.

2^o Quelques points concernant la mesure du facteur de transmission globale K .

Si l'homme de Laboratoire est souvent un « curieux » de théorie, il est toujours, essentiellement, un expérimentateur qui effectue de nombreuses mesures. Les

mesures du coefficient de conductibilité thermique λ et du coefficient K de transmission de la chaleur d'ambiance à ambiance sont parmi les plus délicates à exécuter correctement. Les techniciens, qui utilisent en permanence l'un comme l'autre de ces coefficients, peuvent se demander s'il est vraiment nécessaire de discuter longuement la précision de leur mesure; les soucis de l'entrepreneur sont tellement différents de ceux du physicien que, même lorsque ce dernier s'occupe de questions touchant à sa profession, il arrive qu'il ne suscite qu'un intérêt bien faible de curiosité, quand ce n'est pas aucun intérêt.

La nécessité, pour un laboratoire, d'exécuter des mesures correctes et de s'efforcer d'améliorer les techniques d'essai ne souffre pas de discussion. Des raisons d'ordre pratique s'ajoutent d'ailleurs à cette nécessité logique.

Celui qui, par exemple, dispose d'un tableau de valeurs de λ suffisamment « condensé », ou incomplet, et n'en connaît pas d'autre, est parfaitement à l'abri d'un doute concernant la conductibilité de tel ou tel matériau : il n'entend qu'une cloche !

Imaginez, au contraire, la perplexité de celui qui doit publier un tableau de valeurs de λ : des expérimentateurs également dignes de foi donnent des résultats différant dans certains cas de plus de 30 %, chacun d'eux garantissant sur la valeur donnée une précision de l'ordre de 5 %, voire de 1 %. La difficulté de la mesure rend possibles des erreurs parfois délicates à découvrir et même à soupçonner, mais souvent aussi les mesures ont porté sur des échantillons bien loin d'être identiques (hormis l'appellation), par exemple, de structure, ou simplement de pourcentages d'humidité différents, circonstances que les auteurs oublient trop souvent de mentionner.

Une dernière raison pratique, nous concernant particulièrement celle-là, est constituée par les réclamations de personnes mécontentes du résultat donné. Un client ne nous fait jamais part du moindre doute sur la valeur de notre technique opératoire lorsque nous fournissons un résultat lui donnant satisfaction. Mais, dans le cas contraire, c'est souvent une critique impitoyable qui

⁽¹⁾ M. JACQ, C. R. Académie des Sciences, séances du 28 mars 1951 et du 11 juin 1951, voir aussi *Chaleur et Industrie*, novembre 1951, et VERON, Champs Thermiques et flux calorifiques, *Bulletins Babcock et Wilcox*, n° 23 et 24.

⁽²⁾ A. BLANC, C. R. Académie des Sciences (note présentée par M. G. RIBAUD) A. S. 235, 1952, p. 136-138.

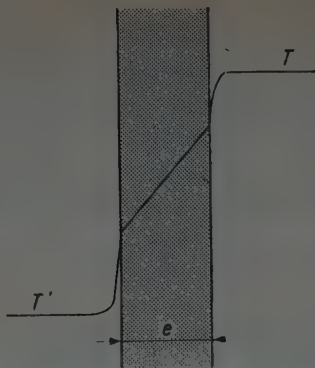
⁽³⁾ Il serait plus juste d'écrire BINDER-SCHMIDT-NISOLLE à cause de l'importance, capitale du point de vue de l'utilisation pratique, des perfectionnements apportés par NISOLLE. Voir à ce sujet : NESSI et NISOLLE, *Régimes variables*, Dunod 1925. NESSI et NISOLLE, *Méthodes graphiques*, Dunod 1929. NESSI et NISOLLE, *Résolution pratique des problèmes de discontinuité*, Dunod 1933.

La méthode de Binder-Schmidt et les perfectionnements de Nisolle sont également exposés dans : VÉRON : *Cours de Chauffage Industriel du C. N. A. M.*, deuxième année. VÉRON : *Bulletins Babcock*, cités.

⁽⁴⁾ A. BLANC, Application du théorème de Thévenin aux problèmes de transmission de chaleur, *Quatrième Congrès International de Chauffage Industriel*, Groupe I, section 13, n° 179.

FIG. 21. — Définition du facteur K.

T et T' sont les températures des ambiances chaude et froide. Le flux horaire F traversant 1 m² de mur est $F = K (T - T')$, cette relation définit K.



R. Résistances chauffantes ;
V. Ventilateurs ;
C. Coffre ;
M. Mur à essayer.

FIG. 22. — Principe de la mesure de K.

Le flux de chaleur dissipé dans la chambre chaude est constant, le flux dissipé dans la « boîte » chaude est gouverné de façon à rendre les températures des ambiances de la chambre et de la boîte chaudes égales. Lorsque cette condition est remplie, le flux de chaleur F dissipé dans la boîte chaude pénètre en totalité dans le mur : il n'y a pas d'échange possible à travers les parois de la boîte chaude ; on mesure alors $T - T'$ et F et on calcule K.

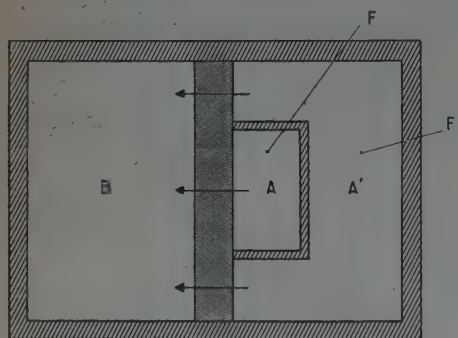
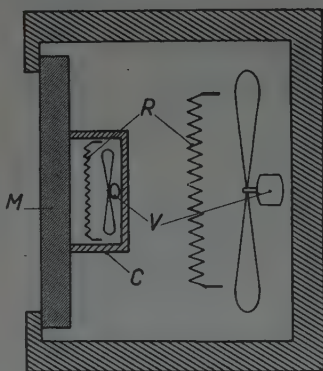
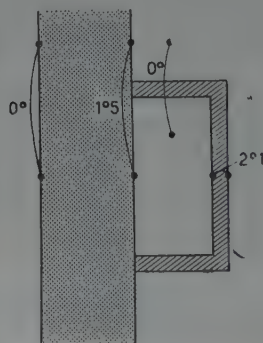


FIG. 23. — Schéma d'ensemble des chambres chaude et froide.

FIG. 24. — Influence des échanges par rayonnement.

Le réglage réalisé (égalité des températures des ambiances chaudes), peut annuler les échanges « par convection » à travers les parois du coffre sans annuler les échanges par rayonnement.



succède à la foi aveugle des jours heureux. Les critiques totalement injustifiées sont évidemment sans aucun intérêt, mais il est rare qu'elles le soient totalement et nous devons avouer avoir tiré profit de cet aiguillon. Il est bon de savoir parfois remettre tout en question.

Ce sont toutes ces raisons qui nous ont fait continuer, cette année encore, l'étude critique de nos méthodes de mesure. Je me bornerai à exposer deux points concernant la détermination du coefficient de transmission globale K ⁽¹⁾.

a) Obtention d'une densité de flux uniforme, mesurable avec certitude.

La méthode utilisée aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics pour cette mesure est celle dite de la boîte chaude ⁽²⁾. Le rôle de celle-ci est de délimiter une zone de garde à l'intérieur de laquelle on dissipe, en régime permanent, un flux de chaleur qui doit traverser normalement le mur. Cette dernière condition demande, pour être remplie, qu'un même flux traverse normalement le mur hors de la boîte, ou tout au moins au voisinage de ses parois. Cela nécessite évidemment l'uniformité de la température sur la face chaude. La définition du coefficient, rappelée par les figures 1 et 2, implique évidemment l'uniformité de la température de l'air baignant la face chaude (air intérieur au coffre et air extérieur au coffre). Elle implique également l'uniformité du coefficient d'échange superficiel h_1 sur toute la face chaude (dans et hors de la boîte), de même l'uniformité du coefficient h_2 sur la face froide du mur. La réalisation la plus logique de l'uniformité de h_1 demanderait l'uniformité simultanée des coefficients de convection et de rayonnement (dans et hors de la boîte chaude), de même pour l'uniformité sur la face froide du coefficient h_2 . Enfin, il serait souhaitable que les h en jeu dans le dispositif expérimental soient de l'ordre de grandeur de ceux utilisés conventionnellement pour les calculs de déperditions $h_1 = 7$, $h_2 = 18$.

On conçoit la difficulté de réaliser simultanément autant de conditions.

Dans notre installation initiale (fig. 3) où la température de la chambre froide B était maintenue constante, tandis que les températures d'air de la chambre et de la boîte chaudes A' et A étaient rendues égales en gouvernant convenablement les débits de chaleur respectifs F' et F, nous constatons, par exemple, lorsque ce réglage était réalisé, un écart de température superficielle de mur de 1,5° entre les zones intérieure et extérieure à l'anneau de garde et un écart de température de 2,1° entre les faces de la paroi postérieure de la boîte chaude. Avec un tel réglage, d'une part l'anneau de garde jouait mal son rôle [un flux (algébrique) φ_2 sortait du « cylindre » idéal (en l'espèce ce cylindre a pour section droite un carré de 1 m de côté ; pour hauteur l'épaisseur du mur)], d'autre part, malgré l'isolation de ses parois, un flux φ_1 , non négligeable, traversait les parois du coffre (fig. 4). Ainsi le courant thermique φ à prendre en considération comme cause de la différence de température observée en régime entre les ambiances chaude et froide, n'est plus le flux F fourni à la boîte chaude (chaleur fournie électriquement, mesurée au wattmètre) : on doit retrancher de F le flux φ_1 à travers les parois de la boîte chaude (mesuré au moyen de thermocouples différentiels) ; on obtient ainsi le flux entrant F₁. Pour obtenir une estimation du flux φ_2 à travers les parois du cylindre idéal, on prend (à défaut d'autre moyen pratique) pour valeur du gradient moyen dans la direction normale à ces parois (gradient radial) la moyenne des gradients radiaux superficiels mesurés au moyen de thermocouples sur les faces chaude et froide du mur et pour valeur de la conductibilité du mur dans le sens radial, la valeur (brute)

⁽¹⁾ Appellation adoptée par le « Guide de Chauffage, Ventilation, Conditionnement d'air ».

⁽²⁾ A. BLANC, Les recherches thermiques aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics, Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, novembre 1951, n° 217.

donnée directement par l'expérience dans le sens normal aux faces du mur (par brute nous entendons calculée sans faire la correction due au flux φ_2). Finalement on prend pour valeur de φ la moyenne des valeurs des flux entrant et sortant du cylindre idéal, soit :

$$\varphi = F - \varphi_1 - \frac{\varphi_2}{2}$$

Comme ordre de grandeur, la correction de φ_1 était de l'ordre de 15 %, la correction $\frac{\varphi_2}{2}$ de l'ordre de 1 à 2 %.

La cause du flux φ_1 , constaté lorsque l'égalité des températures d'air est atteinte, est principalement l'inégalité des échanges par rayonnement entre les zones du mur intérieure et extérieure à l'anneau de garde d'une part, et les surfaces qu'elles « voient » respectivement d'autre part. La zone centrale du mur voyait une surface plus chaude que la zone périphérique. Ainsi, malgré l'égalité des températures d'air A et A' (en supposant même l'uniformité du coefficient d'échange par convection) on ne pouvait avoir l'uniformité de la densité de flux entrant dans le mur. Ceci explique bien qualitativement le sens des inégalités de températures indiquées sur la figure 4.

Pour éviter d'avoir à effectuer des corrections aussi importantes sur F, on pourrait songer à gouverner F et F' pour annuler, non la différence des températures d'air, mais le flux φ_1 sortant du coffre : une différence entre les températures d'air apparaît ainsi que le montre la figure 6. Les faces de la paroi de la boîte chaude voient des surfaces à températures inégales (la face regardant vers A voit le mur en essai dont la température dépasse en général de 2 à 3° la température des surfaces limitant l'enceinte A', vues par l'autre face de la boîte chaude). Le flux φ_1 s'annule par une sorte de compensation : la face interne de la boîte est au contact d'un air moins chaud, mais voit des surfaces plus chaudes que la face externe. Cette « compensation » a conduit à majorer la température de l'air de A' et corriger, par voie de conséquence, le flux total entrant par la partie périphérique de la face chaude du mur. Celle-ci voyait (dans le premier réglage où l'on réalisait l'égalisation des températures d'air) une surface plus froide que celle vue par la partie centrale, d'où un déficit de flux rayonné (algébriquement) sur le mur. L'augmentation de la température de l'air de A' agit dans le sens voulu pour tendre à compenser ce déficit. Ainsi, dans les conditions d'une telle expérience (fig. 6) une même densité de flux traverse les parties centrale et périphérique du mur, alors que l'air qui baigne la partie périphérique est à une température dépassant de plus de 2° celle de l'air baignant la partie centrale. On voit ici toute l'ambiguïté de la notion de coefficient global K, prenant en considération uniquement la température de l'air dans un phénomène où les échanges de chaleur dépendent aussi des températures des surfaces vues : dans la dernière expérience décrite, un même mur présente ainsi un K périphérique, différent du K central. Il faudrait, pour faire cesser l'indétermination, se donner les températures des surfaces vues (du côté froid comme du côté chaud), assurer leur uniformité et, en ce qui concerne les échanges par convection, se donner, par exemple, au moyen d'un dispositif de convection forcée, une valeur bien déterminée du coefficient d'échange par convection. En résumé, il faut se donner :

1° Pour l'air, la température et l'état de mouvement au voisinage de la surface du mur.

2° Pour les surfaces « vues » par le mur, la température et l'état de surface (propriétés « optiques »).

En fait, cela revient à éliminer du résultat de la mesure tout ce qui n'est pas dû à la résistance thermique de la matière constituant le mur : $\Sigma \frac{e}{\lambda}$. Le seul autre facteur (appartenant au mur) susceptible d'intervenir dans le résultat final, est l'état de la surface pouvant intervenir pour l'échange par rayonnement (peu en général) et aussi par convection (d'une manière, pour le moins, difficilement prévisible).

L'expérience de la figure 6 fournit, pratiquement sans corrections ($\varphi_1 = 0$, $\frac{\varphi_2}{2}$ très faible), une bonne mesure de la résistance thermique du mur (alors qu'elle souligne l'ambiguïté de K et la difficulté de sa mesure).

Les dispositions de nature à éliminer pratiquement les flux φ_1 et φ_2 sont : la diminution (voir l'élimination) de l'influence du rayonnement, l'augmen-

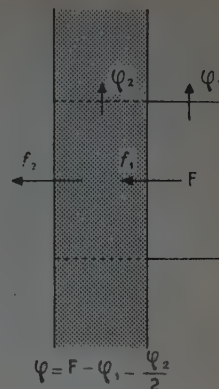


FIG. 25. — Corrections à faire subir à F.

F est le flux de chaleur fourni à la boîte chaude, φ est une estimation du flux responsable de la différence de température observée entre les faces chaude et froide du mur.

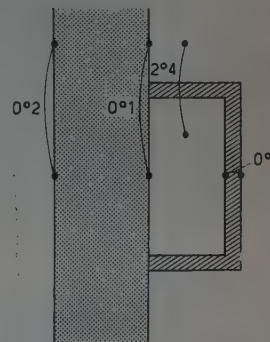


FIG. 26. — Autre aspect de l'influence des échanges par rayonnement.

Le réglage réalisé (absence de tout échange entre la boîte et la chambre chaude) peut s'accompagner d'une différence relativement importante entre les températures des ambiances.

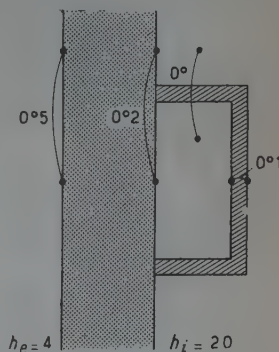


FIG. 27. — Réglage obtenu en augmentant l'importance des échanges par convection.

On obtient pratiquement l'égalité des températures des ambiances chaudes en même temps que l'absence d'échanges calorifiques entre les parois de la boîte chaude.

tation du coefficient de convection rendant ce mode d'échange fortement prépondérant. Cela conduit :

1° A brasser énergiquement l'air pour accroître l'importance des échanges par convection, ce qui assure, de plus, une uniformité plus parfaite de la température;

2° A disposer dans la partie annulaire des écrans « montrant » à la partie correspondante du mur des surfaces ayant sensiblement la température de l'air (et jouant pour la partie annulaire le même rôle d'écran que les parois du coffre pour la partie centrale). La figure 7 fournit un exemple de résultats obtenus avec une telle disposition (les corrections φ_1 et $\frac{\varphi_2}{2}$ sont négligeables). L'air de la chambre chaude était agité par une hélice de 2 m de diamètre tournant à 40 tr/mn.

En conclusion, un dispositif relativement simple permet, moyennant des précautions nécessaires faciles à observer, une mesure correcte de la résistance thermique d'un mur. Par contre, une détermination, dans des conditions bien définies, d'un coefficient global d'échange, ne peut en théorie se concevoir sans une large part d'arbitraire (choix des vitesses d'air et des températures des surfaces vues) et, en pratique, se réaliser sans un luxe de moyens (tant humains que matériels) hors de proportion avec le bénéfice hypothétique que pourrait en tirer l'utilisateur.

Il nous apparaît donc beaucoup plus sage de se borner à mesurer les résistances thermiques des murs. La valeur de K à donner finalement aux usagers s'en déduirait, en prenant l'inverse de la résistance thermique totale obtenue en ajoutant, à la résistance thermique mesurée, une quantité conventionnelle (0,20 par exemple) pour tenir compte, dans des conditions considérées comme standard, de l'influence des résistances thermiques de passage.

b) Régulation et mesure de la puissance.

Le courant calorifique F déversé électriquement dans la boîte chaude doit être maintenu constant pendant la durée, très longue, de mise en régime ou, plus exactement, de recherche du régime permanent assurant φ_1 nul. La constance de F assurée, sa mesure doit être effectuée avec la précision nécessaire (de l'ordre de 1 %).

Le secteur d'alimentation, s'il délivre un courant dont la fréquence (50 périodes) est relativement bien constante, présente par contre des variations de tension efficace absolument inadmissibles dans une expérience exigeant une fourniture constante d'énergie. Un dispositif de régulation est donc nécessaire. Un transformateur à fer saturé ramène de 10 % à moins de 1 % les variations de tension du secteur : il est donc judicieux d'en interposer un entre le secteur et la résistance chauffante à alimenter.

Comme la puissance à dissiper dans la résistance chauffante peut, selon l'échantillon en essai, varier dans de larges limites (de l'ordre de 1 à 20) il faut (fig. 8 et 9) prévoir, en avant du wattmètre, un rhéostat de réglage.

Le dispositif obtenu est encore loin de donner satisfaction. Les variations de la résistance totale, obtenues au moyen du rhéostat, gouvernent bien l'intensité du courant traversant l'élément chauffant R, mais cette variation modifie la puissance demandée au secondaire du transformateur à fer saturé et, comme les propriétés régulatrices du système valent pour un débit bien déterminé du secondaire et s'évanouissent plus ou moins vite lorsqu'on s'en écarte, la régulation attendue n'a lieu que pour une seule valeur de la puissance dissipée dans A.

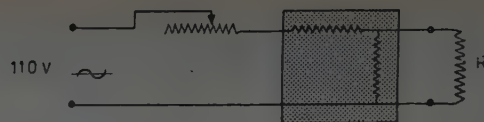


FIG. 28. — Réglage et mesure de la puissance dissipée dans R.

Si l'alimentation 110 V était stable il suffirait, pour gouverner et mesurer la puissance dissipée dans R, de faire précéder R d'un wattmètre et d'un rhéostat.

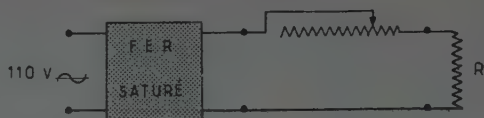


FIG. 29. — Usage d'un transformateur à fer saturé.

Les variations de tension du secteur sont divisées par un facteur de l'ordre de 10 à 15. Mais cette régulation n'est pleinement efficace que pour un seul débit. L'action du rhéostat, gouvernant la puissance dissipée dans R, détruit l'effet régulateur lorsque le débit s'écarte par trop du débit nominal.

L'artifice utilisé pour rendre constant le débit demandé au fer saturé, quelle que soit la puissance à fournir à la résistance chauffante, est le suivant : deux résistances x et y sont connectées, la première en série, la deuxième en parallèle, comme l'indique la figure 10, les variations de x et y étant liées de façon telle que l'ensemble dans lequel débite le secondaire soit toujours vu par ce dernier sous la même impédance égale à R. Cette condition s'écrit :

$$x + \frac{yR}{y + R} = R$$

ou :

$$x(y + R) = R^2.$$

Il faut donc que le produit $x(y + R)$ soit constant. Cette condition évoque irrésistiblement, chez un friand

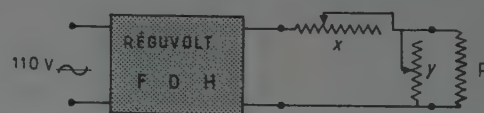


FIG. 30. — Principe d'un dispositif atténuateur.

Si x et y sont liés par la relation :

$$(1) \quad x(y + R) = R^2$$

le dispositif régulateur débite un courant constant car il « voit » toujours la même résistance R.

L'atténuation, rapport du courant sortant du régulateur au courant traversant R (ou de la tension aux bornes d'entrée, à la tension aux bornes de sortie de l'atténuateur) est :

$$\alpha = \frac{i}{i'} = \frac{v}{v'} = \frac{y + R}{y} \quad x(y + R) = R^2$$

tenant compte de (1), on a : $\alpha = \frac{R^2}{xy}$

L'atténuation en puissance est α^2 soit, en décibels :

$$A = 20 \log \frac{R^2}{xy}$$

On obtient les atténuations voulues par variation de x et y liés par (1). Cette variation peut être « continue » (fig. 11) ou discontinue (résistances fragmentées). On peut aussi mettre, en chaîne, plusieurs cellules d'atténuation de même impédance caractéristique R : leurs atténuations A, en décibels s'ajoutent.

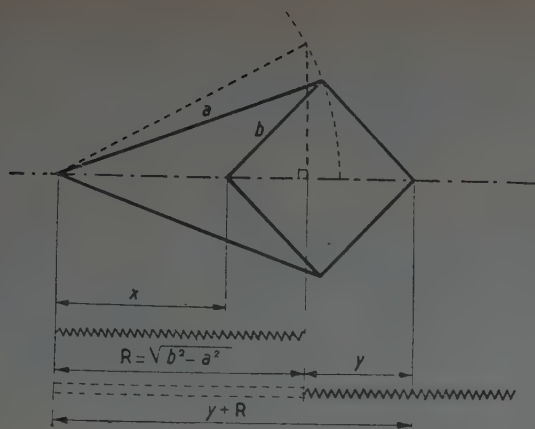


FIG. 31. — Principe d'un dispositif atténuateur à variation continue.

La relation géométrique $a^2 + b^2 = R^2 = x(y + R)$ caractéristique de l'inverseur de Peaucellier s'identifie à la relation assurant à la cellule d'atténuation une impédance caractéristique constante, égale à R . L'atténuation en tension est :

$$\frac{y + R}{y}$$

facilement « lisible » sur la figure : elle peut être gouvernée de :

$$1 + \frac{R}{b + a - R}$$

à l'infini.

de géométrie, l'inversion et, effectivement, un dispositif tel que l'inverseur de Peaucellier, réalisant le déplacement simultané de curseurs sur des bobines x et y permettrait une variation quasi continue (à une spire près) de la puissance fournie à R , celle demandée au transformateur à fer saturé demeurant constante.

Lorsqu'on n'a pas besoin d'une variation aussi continue, on peut se borner à fractionner x et y et à passer par sauts, au moyen d'un contacteur double, d'un couple de valeurs (x, y) à un autre : c'est ce que nous avons fait notamment dans notre dispositif de mesure de λ où seul l'ordre de grandeur de la puissance (constante) à dissiper dans le panneau central du dispositif sandwich est imposé ⁽¹⁾.

La puissance étant stabilisée, il reste à la mesurer à l'aide d'un wattmètre convenable et convenablement

utilisé. L'usage d'un fer saturé pour la stabilisation a l'inconvénient d'introduire dans le courant de sortie un taux d'harmoniques élevé risquant, si la résistance chauffante et surtout l'enroulement tension du wattmètre sont inductifs, d'introduire un terme correctif dépendant de la fréquence, pratiquement impossible à évaluer. Pour écarter cette cause d'erreur, nous avons adopté un dispositif type Réguvolt FDH où le fer saturé est suivi d'une cellule de filtrage d'où le courant sort pratiquement sinusoïdal.

Enfin, il va sans dire que l'on doit toujours procéder aux corrections, dites de débit, inhérentes au montage « amont » ou « aval » des enroulements du wattmètre qu'il y a selon le cas, avantage à utiliser pour avoir le minimum d'erreur systématique.

Le montage, réalisé suivant les principes exposés, nous a donné entière satisfaction et, grâce à ces dispositions, la précision dans la mesure de la puissance devient effectivement celle indiquée par le constructeur du wattmètre pour ce type d'appareil [elle est de l'ordre de 0,5 % ⁽¹⁾]. Enfin, le wattmètre est, en général, séparé de la résistance d'utilisation par une ligne : il faudra, éventuellement, tenir compte de la puissance susceptible d'y être dissipée.

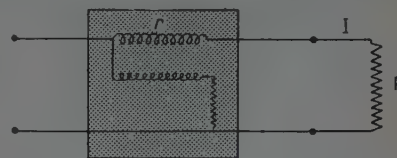


FIG. 32. — Mesure de la puissance au wattmètre : montage « amont ».

Il faut retrancher de la puissance lue la consommation de l'« ampèremètre » $p = I^2 r$.

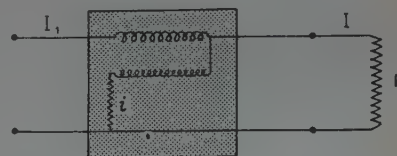


FIG. 33. — Mesure de la puissance au wattmètre : montage « aval ».

Il faut retrancher de la puissance lue la consommation du « voltmètre » $p = U_i$.

Il importe dans toute mesure de puissance de choisir le montage « amont » ou « aval » conduisant à la correction la plus faible.

⁽¹⁾ Voir A. BLANC, Les recherches thermiques aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics, *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, novembre 1951, n° 217.

⁽¹⁾ Précision : fascicule C 28 de l'Union des Syndicats de l'Électricité.

II. — MESURES DE CHALEURS SPÉCIFIQUES DES MATÉRIAUX

Si les quantités λ et K permettent à l'installateur de chauffage d'effectuer ses calculs de déperditions en régime permanent, il lui faut de plus, pour se livrer à un calcul de régime variable, connaître les valeurs des chaleurs spécifiques des matériaux de construction. Malheureusement, ces chaleurs spécifiques ne sont pas toujours connues de façon bien sûre; il existe même des cas (comme celui de la chaleur spécifique des bois) où la contradiction entre les auteurs (que les difficultés particulières à cette mesure expliquent en partie) pourrait apparaître scandaleuse au profane. Devant cet état de fait, l'*Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics* a demandé aux *Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics* d'effectuer de nouvelles mesures sur les principaux matériaux de construction, traditionnels ou non, et de s'efforcer d'élucider notamment la question de la chaleur spécifique des bois.

Ce travail a été effectué par M. PASCAL, Ingénieur à la Section Thermique qui, ultérieurement, fera dans les *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics* un exposé détaillé de la technique opératoire et donnera un tableau complet des résultats obtenus. Nous nous bornerons à présenter ici les grandes lignes.

Méthode de mesures.

Le choix d'une méthode de mesure, option principale dans une recherche de cette nature, est particulièrement délicat : des méthodes dont le principe apparaît d'abord séduisant, se montrent souvent, à l'usage, médiocres. Ainsi, a été rejetée, par exemple, la méthode du calorimètre à glace (utilisée par Dunlap, 1912). Parmi les principales autres méthodes, nous citerons :

1° La méthode de compensation par effet Joule du refroidissement apporté par l'échantillon (plus froid) à l'eau d'un calorimètre.

2° La méthode du calorimètre métallique, où l'échantillon (chauffé) est placé dans une cavité ménagée dans un bloc de métal et chauffe ce bloc.

3° La méthode électrique où l'on compare l'effet d'une même énergie électrique, chauffant d'abord l'eau du calorimètre seule, puis l'ensemble eau-échantillon. Le résultat recherché s'obtient en calculant la différence des résultats de deux mesures : cela risque de conduire, lorsque cette différence est faible, à une erreur relative importante.

4° La méthode dite des mélanges, où l'échantillon chaud est plongé dans l'eau du calorimètre, qu'il chauffe jusqu'à égalisation des températures.

C'est cette dernière méthode, la plus classique, qui a été retenue.

Les échantillons utilisés sont, soit des cylindres (diamètre 35 mm, hauteur 50 mm) taillés dans le matériau, soit, pour les bois, des copeaux remplissant une nacelle métallique de mêmes dimensions. La plupart des matériaux de construction sont susceptibles de retenir plus ou moins d'eau; les mesures ont été faites après séchage à l'étuve à 100°, l'eau ainsi chassée imbibait simple-

ment le matériau, sans former avec lui de combinaison chimique : dans ces conditions, les capacités calorifiques sont additives. La chaleur spécifique, par unité de volume du matériau humide (qui est la grandeur intéressante en transmission de chaleur) s'obtiendra en ajoutant à la chaleur spécifique par unité de volume du matériau sec, la capacité calorifique de l'eau retenue dans l'unité de volume (il faudrait éventuellement tenir compte du gonflement du « squelette »).

Pour les mesures, les échantillons ont été portés à une température ne dépassant pas 95°. Ces températures relativement basses ont été choisies pour éviter, en particulier dans le cas des bois, toute modification chimique, ou physico-chimique.

Le calorimètre utilisé est du type Berthelot représenté figure 14. On reconnaît les dispositions classiques contre les fuites thermiques, l'enceinte contenant une grande masse d'eau à température pratiquement constante, de l'ordre de celle de l'ambiance, l'enceinte intermédiaire à parois polies gênant à la fois les échanges par convection et rayonnement, les pointes de liège, etc. Les couvercles des enceintes ont été percés d'ouvertures dont les dimensions sont les plus faibles possible permettant l'introduction de l'échantillon chaud (détail figure 15) dans le calorimètre; ces ouvertures sont décou-

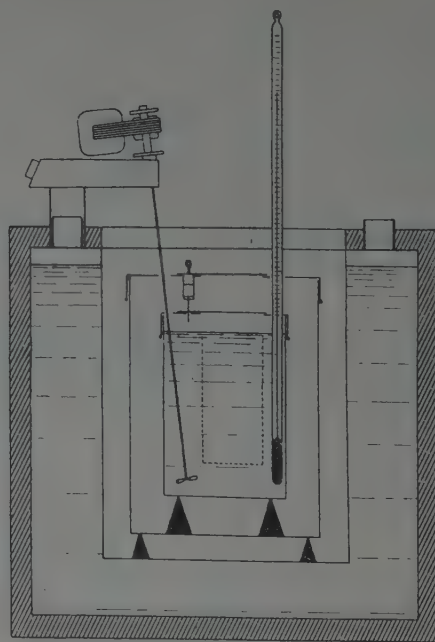


FIG. 34. — Calorimètre de Berthelot.

Dispositif classique pour la mesure des chaleurs spécifiques par la méthode des mélanges. L'agitation du liquide est faite par un micromoteur électrique. Une nacelle en toile métallique sert à recevoir l'échantillon sans risquer de casser le thermomètre.

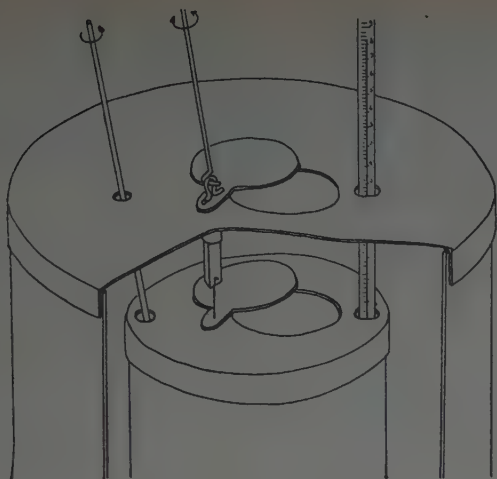


Fig. 35. — Détails de construction du calorimètre.

A gauche la tige de l'agitateur mécanique. Les deux volets rotatifs des enceintes sont couplés et commandés de l'extérieur. Le montage est simple et la commande rapide. Thermomètre de précision à mercure gradué en $1/50$ degré.

vertes pendant le temps minimum nécessaire pour l'introduction de l'échantillon. Les lectures sont faites au $1/100$ de $^{\circ}\text{C}$, les élévations de température sont, en général, de l'ordre de deux à quatre degrés (une fraction de degré seulement pour les bois).

Du point de vue de la correction des fuites thermiques, le calorimètre de Berthelot n'est pas à l'abri de toute critique : si la présence de grandes masses d'eau présente l'avantage de réaliser une enceinte sensiblement isotherme, rendant plus faciles (sinon plus sûres) les corrections, il ne faut pas oublier ⁽¹⁾ qu'en régime variable, le flux calorifique pénétrant dans un « mur » est proportionnel au facteur $b = \sqrt{\lambda c \rho}$ de ce mur ; il y aurait donc avantage, pour réduire les fuites thermiques, à remplacer le mur (d'eau agitée par surcroît) par un mur d'air immobilisé, par exemple : cet avantage compenserait probablement et au delà, l'accroissement de la difficulté du calcul de la correction de fuites thermiques : il nous paraît plus raisonnable de s'efforcer de réduire ces dernières que de tenter de les calculer avec précision.

Le four que présente la figure 16 est muni d'un fond basculant et peut être amené au-dessus du calorimètre pendant le temps juste nécessaire à l'introduction de l'échantillon dans ce dernier : on réduit ainsi au strict minimum le trajet de l'échantillon chaud dans l'air et les fuites thermiques correspondantes. La mesure de la température de l'échantillon est effectuée au moyen d'un couple thermo-électrique (fig. 16). Une grosse difficulté est d'assurer l'uniformité de celle-ci. Dans le dispositif relativement simple réalisé, les parois internes du four ont été, dans ce but, faites en cuivre. Nous avons envisagé d'agiter mécaniquement l'air du four, mais une distribution judicieuse des enroulements chauffants a permis d'obtenir une uniformité jugée satisfaisante (écarts extrêmes de l'ordre de $0,5^{\circ}$). Il suffit en gros que le « manque d'uniformité » résiduel ne soit pas la cause d'erreurs d'un ordre de grandeur supérieur aux autres.

⁽¹⁾ Voir VÉRON, Cours de chauffage industriel du C. N. A. M., deuxième année.

Nous renvoyons ceux que les techniques expérimentales intéressent à la publication de M. PASCAL où seront donnés tous les détails concernant la conduite de l'expérience.

Nous n'entrerons pas, non plus, dans le détail du calcul des corrections : les figures 17, 18, 19 en rappellent le principe, fixent les ordres de grandeur des élévations de température, des durées d'expérience, et donnent l'allure des courbes de « montée » en température et de refroidissement.

La précision finalement obtenue, dont nous ne saurions donner ici le détail du calcul, peut être estimée à 2 % pour les matériaux de conductibilité thermique relativement forte mais, pour les matériaux isolants comme les bois, la précision est seulement de l'ordre de 5 %.

Les principaux résultats obtenus confirment dans l'ensemble, à mieux que 10 % près, les valeurs habituellement données, les faibles écarts obtenus paraissent imputables à la diversité des produits naturels ou fabriqués de même appellation : il y a marbre et marbre, comme il y a brique et brique. Du point de vue thermique, une mesure de chaleur spécifique (et même, par prudence, de conductibilité) doit toujours être accompagnée d'une mesure de densité : cela a été fait systématiquement. En ce qui concerne la chaleur spécifique des bois, les expériences effectuées, sans mettre un point final à la discussion, ont apporté une importante contribution expérimentale. DUNLAP, en « séchant » le bois pendant

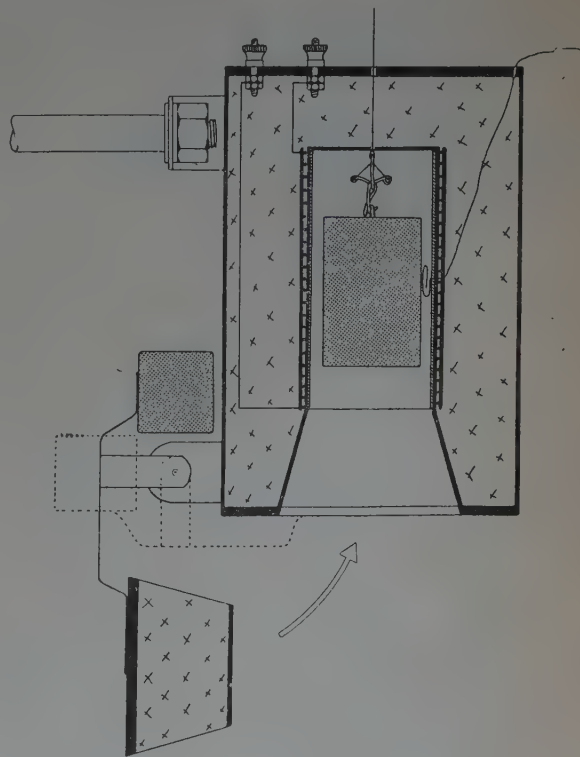


Fig. 36. — Montage du four.

L'échantillon est suspendu dans le four dans une ambiance à température constante. La température est prise par un thermocouple placé dans l'air du four. Le fond du four s'ouvre pour permettre de plonger l'éprouvette directement dans le calorimètre. Celle-ci se décroche automatiquement au niveau voulu.

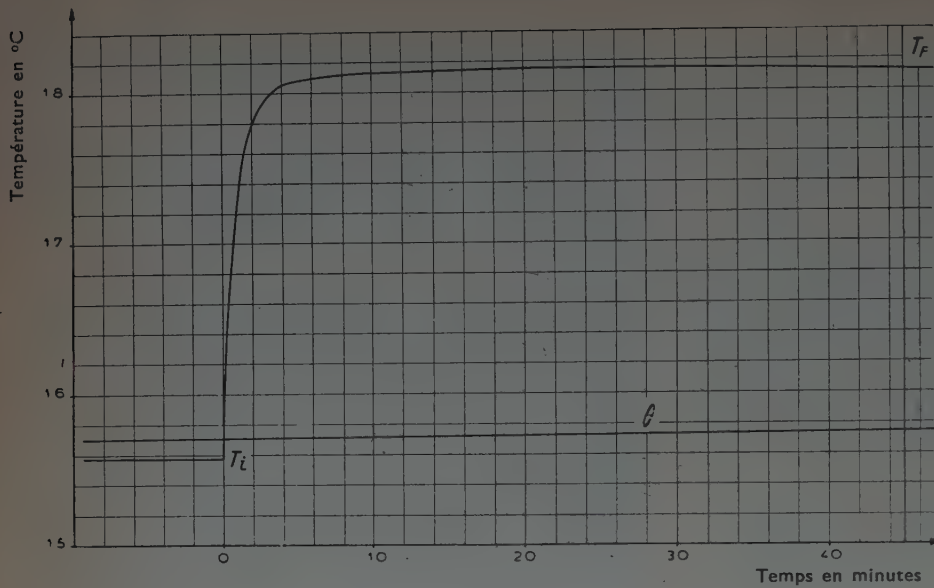


FIG. 37. — Évolution de la température du calorimètre en fonction du temps.

Diagramme calorimétrique.

Cas d'un matériau mauvais conducteur de la chaleur.

L'égalisation de la température dans le vase est longue.

FIG. 38. — Détermination de l'élévation de température du calorimètre.

Sur ce diagramme, les ordonnées de la courbe précédente ont été « dilatées » et les abscisses « comprimées ». L'égalisation de la température dans le vase calorimétrique apparaît beaucoup plus clairement que sur la courbe précédente.

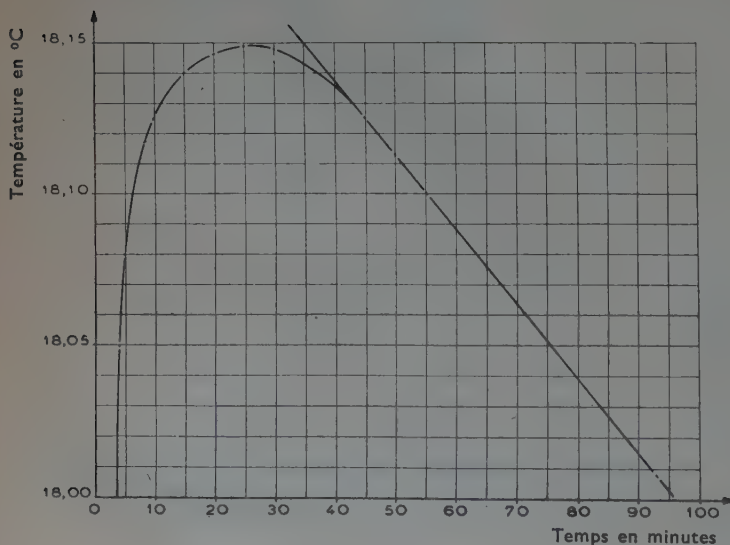
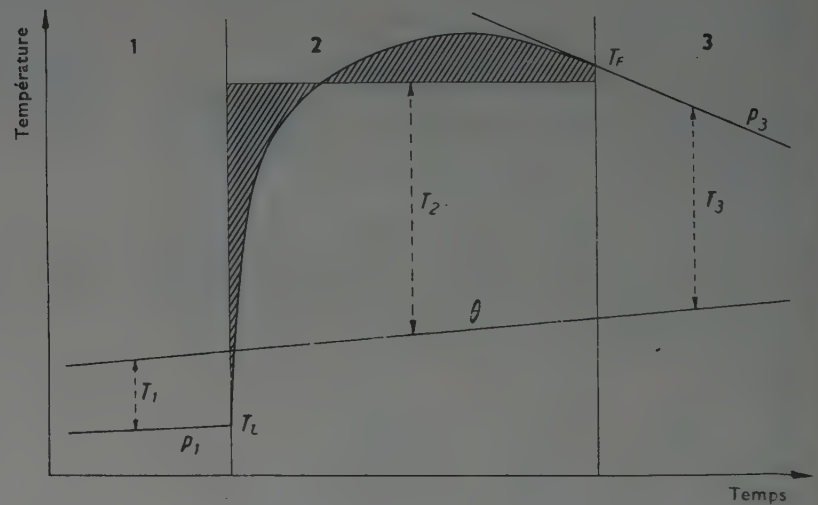


FIG. 39. — Cette figure indique le principe de la correction de l'élévation de température mesurée ($T_F - T_i$). Connaissant p , p_s , T_1 et T_3 , on en tire la correction ΔT à appliquer. Cette correction, négligeable pour les matériaux bons conducteurs, devient très importante dès que l'égalisation des températures dans le vase devient longue (cas des bois).

plusieurs jours à 106°, avait obtenu des valeurs comprises entre 0,325 et 0,330 quelle que soit l'essence. Suivant la technique en usage aux Laboratoires du Bois, le bois, réduit en copeaux, a été laissé seulement 24 heures à l'étuve à 105°. Les valeurs ainsi obtenues pour la chaleur spécifique sont comprises entre 0,520 (hêtre) et 0,570 (pin). Elles confirment numériquement,

en gros, celles de Mayer, données par Pécelet, pour lesquelles nous n'avons malheureusement pas de renseignements sur les conditions expérimentales; elles possèdent avec celles de Dunlap, dont elles diffèrent numériquement d'environ 40 %, un trait commun important : l'étroitesse du champ de variation de la chaleur spécifique avec l'essence.

III. — ÉTUDE D'UN THERMOMÈTRE RÉSULTANT ENREGISTREUR D'INERTIE RÉDUITE

Les valeurs des quantités λ , K , c , fournies par les mesures de laboratoire permettent aux ingénieurs et installateurs d'effectuer leurs calculs et de mener à bien leurs réalisations; c'est encore à des techniques de laboratoire qu'il faut faire appel lorsqu'il s'agit de contrôler les résultats obtenus ou de procéder à des essais de réception. L'attention des praticiens a été fortement attirée (dans le Cycle du chauffage précédent notamment) (1) sur l'importance de la température résultante et de sa mesure.

La doctrine de la mesure n'est d'ailleurs pas encore totalement fixée et il ne faut pas se dissimuler qu'elle devra comporter dans sa forme « définitive » une certaine part de convention, due principalement à l'établissement d'un compromis nécessaire entre le désir d'atteindre une vérité physico-physiologique aussi totale que possible et l'obligation pratique d'utiliser un appareillage peu coûteux, robuste, d'usage simple.

La réalisation la plus connue en France est celle du thermomètre résultant Misenard dans lequel un thermomètre à mercure de modèle courant a son réservoir placé au centre d'une sphère métallique mince, noircie extérieurement, d'un diamètre de l'ordre de 8 à 10 cm (2). Un tel dispositif, le choix du diamètre étant fait, constitue ce qu'on pourrait nommer une « définition pratique » de la température résultante.

Comme instrument de mesure, il présente le grand mérite de la simplicité et « suit » de façon satisfaisante les variations de la température résultante (de celle qu'il définit clairement en régime permanent), lorsque celles-ci sont suffisamment lentes. La mise en équilibre de l'ensemble thermométrique demande (si l'on veut, par exemple, effectuer une mesure à 1 % près d'erreur relative) un temps de l'ordre de 15 mn. Il serait souhaitable de réduire fortement ce temps de réponse : la vérité physiologique le voudrait égal à celui, beaucoup plus court, de nos propres sensations thermiques. Lorsque, au printemps, un nuage vient masquer brusquement le soleil, nous éprouvons bien vite une sensation de froid, sans que la température de l'air ait pratiquement changé; de même, la mise en route d'un chauffage par rayonnement à faible inertie peut changer, en certains points, la température résultante beaucoup plus vite que la température de l'air. Il serait enfin souhaitable de pouvoir non seulement mesurer, mais enregistrer ces variations rapides de la température résultante.

Nous avons recherché, sur la demande de l'Institut Technique, une solution à ce problème. L'enregistrement de la température ne présente pas de difficulté, tant qu'on ne se montre pas exigeant sur la précision et surtout sur la rapidité de réponse : il existe des versions

commerciales nombreuses de thermomètres à mercure, ou à tension de vapeur, enregistreurs à distance. L'inertie de ces appareils est malheureusement grande, elle est même nécessairement grande : en effet, les dispositifs inscripteurs de ces types d'appareils (plumes par exemple) empruntent finalement l'énergie, non négligeable, qui est nécessaire pour les déplacer au milieu dont ils sont chargés de mesurer la température : il faut que cette cession d'énergie, qui nécessite à cause de son importance des « témoins » de dimensions importantes, ait le temps de s'effectuer. Si l'on réduit la dimension des témoins, on diminue les temps de réponse, mais on diminue en même temps l'importance des échanges d'énergie et le dispositif ne peut plus être inscripteur. On peut, certes, réduire les frottements (on a imaginé des artifices comme celui du papier inscripteur recouvert de graphite colloïdal conducteur, où l'inscription se fait au moyen d'une étincelle de rupture entre deux pointes ne touchant pas le papier), mais la solution générale est constituée par l'usage de relais, mécaniques (comme dans le dispositif Micromax) ou électriques.

Les méthodes potentiométriques (méthodes de zéro, telles que les dispositifs Micromax ou encore mieux Speedomax) fournissent une solution particulièrement satisfaisante, mais malheureusement très chère.

Un principe, séduisant de simplicité, n'ayant pas donné lieu, à notre connaissance, à des réalisations commerciales, valait d'être pris en considération : amplifier électriquement la variation de tension fournie par un couple thermo-électrique ou une résistance thermométrique et, l'amplification en tension étant suffisante, « sortir » par un étage de puissance sur un milliampèremètre robuste de type courant dont les déplacements de l'aiguille s'inscriraient au moyen d'un dispositif mécanique, appuyant périodiquement celle-ci sur une bande de papier se déplaçant sur une table d'enregistrement de modèle courant. L'idée d'un tel dispositif et la réalisation que nous allons sommairement décrire sont dues à M. MARÉCHAL, Ingénieur à la Section Thermique des Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics, à qui cette recherche a été confiée.

Le témoin thermométrique est un fil de platine de 10 m de long (de 3/100 mm de diamètre) bobiné sur un cylindre de papier à cigarettes de diamètre 4 cm, que l'on dispose, au lieu du thermomètre à mercure, dans la sphère (ou le cylindre) métallique. De cette façon, l'inertie thermique du témoin n'accroît pas sensiblement l'inertie thermique de l'enveloppe métallique (on pourrait, pour réduire la durée de mise en équilibre, envisager de remplacer l'air emprisonné par de l'hydrogène, ou même agiter l'air, mais cela compliquerait la réalisation).

Nous n'entrerons pas dans le détail de la réalisation de l'amplificateur. Signalons seulement qu'il est inspiré du schéma de base de l'amplificateur différentiel de

(1) Voir en particulier la conférence de M. CADIERGUÉS sur : La température résultante (cycle du chauffage 1951).

(2) MISENARD, Cours supérieur de Chauffage, Ventilation et Conditionnement de l'air (IV), p. 60.

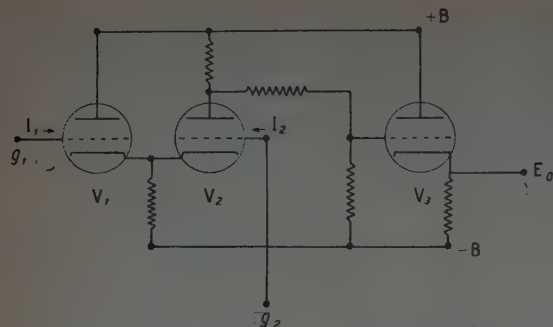


FIG. 40. — Schéma de principe de l'amplificateur différentiel de base.

Léo Goldberg ⁽¹⁾, susceptible de nombreuses autres applications (notamment au calcul analogique) donné figure 20. Dans cet amplificateur, les variations de la tension de sortie E_0 sont proportionnelles à la différence des variations de tension des deux entrées g_1 et g_2 . Par l'emploi d'une contre réaction (fig. 21) reportant une

⁽¹⁾ Léo GOLDBERG, Amplificateurs différentiels universels à couplage direct. *Electronics* (Octobre 1951).

partie du signal de sortie sur l'entrée g_2 (exigeant pour sa réalisation deux résistances de précision R_3 et R_4) on obtient à partir du schéma fondamental précédent, un amplificateur à gain élevé pratiquement constant. Enfin, la figure 22 donne le schéma de l'amplificateur réalisé. On remarquera, en plus des éléments du schéma

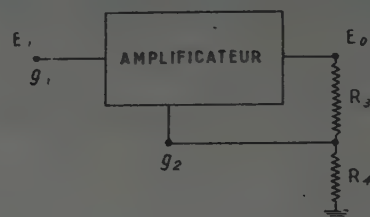


FIG. 41. — Principe de la contre-réaction appliquée à l'amplificateur différentiel.

fondamental facilement reconnaissable, les nombreux stabilisateurs à gaz de précision assurant la stabilisation des hautes tensions $+300\text{ V} - 300\text{ V}$, ainsi que celle, plus nécessaire encore, de la source de polarisation (source étalon réglable) de l'entrée g_1 , source alimentant en même temps la résistance thermométrique (à laquelle, pour l'étalonnage, on substitue une résistance de précision, indépendante de la température).

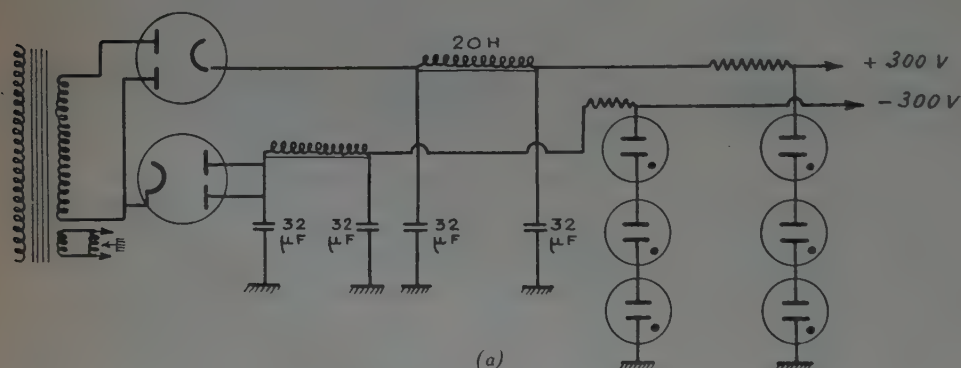


Schéma du dispositif réalisé :

- (a) Alimentation, chauffage et H. T.;
- (b) Réalisation de la source étalon réglable;
- (c) Amplificateur proprement dit.

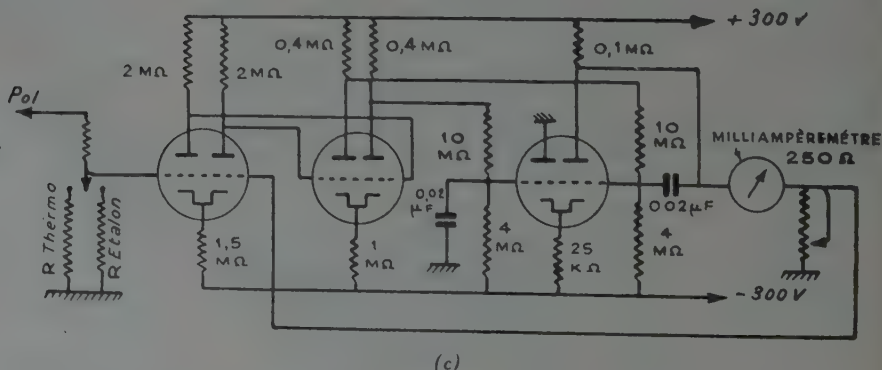
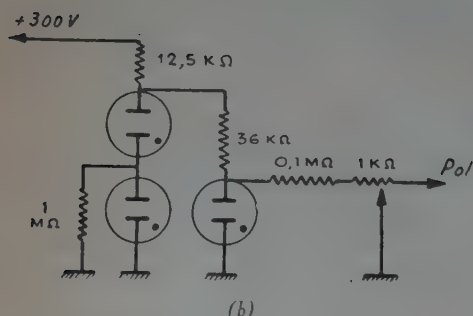


FIG. 42. — Amplificateur différentiel à couplage direct et contre-réaction.

Finalement, le témoin thermométrique est une résistance de 1 000 Ω qui fournit une variation de 1 Ω par degré; l'étendue de l'intervalle de température mesurable est de 30 degrés avec possibilité d'un réglage du niveau du zéro. L'enregistrement se fait sur papier de 12 cm de largeur se déroulant à une vitesse de 24 cm par jour. Les pointés ont lieu toutes les 1 mn 30 : avec la vitesse de déroulement choisie le tracé est pratiquement

continu. Sous sa forme actuelle qui n'est certainement pas définitive, le poids de l'appareil est de l'ordre de celui d'un poste de radio courant, le prix des fournitures nécessaires de l'ordre de 60 000 F. La seule ambition raisonnable est, en l'espèce, d'obtenir finalement un appareil, qui, beaucoup moins cher que les potentiomètres genre Micromax ou Speedomax, soit seulement un peu moins parfait. Nous espérons y parvenir.

CONCLUSION

Ces dernières considérations plus économiques que scientifiques nous fournissent l'occasion de formuler, en guise de conclusion, un souhait : celui de voir se resserrer par tous les moyens, par l'intermédiaire des organes professionnels ou par contacts directs, la collaboration entre le Laboratoire, équipé des moyens

de recherche mais ignorant souvent des aspects économiques, voire techniques et toujours du degré d'urgence des problèmes, et la Profession qui elle, les connaît bien, peut les poser correctement, mais ne peut les résoudre seule faute d'équipement scientifique et de temps.

CONCLUSION DU PRÉSIDENT

Je remercie M. BLANC de son exposé. Le rôle du Laboratoire est un peu ingrat en ce sens qu'il est d'abord à la disposition des industriels — et c'est son rôle le plus efficace, dirais-je pour donner les caractéristiques de produits nouveaux, et le cas échéant, pour contrôler les données thermiques d'un produit ancien lorsqu'il peut y avoir une contestation.

Mais par ailleurs, nous lui posons parfois des questions moins intéressantes du point de vue pratique, en particulier la construction de thermomètres résultants enregistreurs. Le problème est simple. Vous connaissez les principes du thermomètre résultant qui est une boule et il faut enregistrer la température de l'intérieur de cette boule. Mais comme il ne semble pas y avoir, pour le moment, un marché intéressant, nous demandons au Laboratoire de l'étudier parce que, bien que les constructeurs soient peut-être mieux outillés pour le faire, on ne peut pas engager un constructeur dans des recherches qui ne seraient pas certainement amorties.

DISCUSSION

LE PRÉSIDENT. — Quelqu'un a-t-il des questions à poser à M. BLANC pour en terminer sur les études et les recherches françaises ?

M. MARCO. — Au point de vue thermomètre résultant enregistreur et à faible inertie, est-ce que la principale inertie du thermomètre résultant ne provient pas de la boule elle-même ?

LE PRÉSIDENT. — Oui, mais l'inertie en soi n'est pas très grande si l'on prend un métal très mince. Il y a toujours la masse d'air intérieur et le professeur CODEGONE avait proposé, justement, d'en faire un thermomètre à air. On pourrait envisager, évidemment, un thermomètre ayant le vide à l'intérieur, mais cela conduirait à augmenter l'épaisseur du métal, si bien que l'on gagne d'un côté ce qu'on perd par ailleurs.

M. PETIT. — J'ai remarqué qu'en ce qui concerne la mesure de chaleur spécifique on avait envisagé, pour certains matériaux, dont le bois, une méthode qui consistait en une fragmentation du matériau considéré. Je me demande si cette méthode peut conduire à des résultats bien exacts, étant donné que ce qui nous intéresse c'est la chaleur spécifique, non pas d'un échantillon désintégré, mais de la matière elle-même. Il est bien évident que le bois, dont la structure est fibreuse, si on le réduit en copeaux extrêmement minces, peut donner des résultats assez différents de ceux qui doivent être pris dans la pratique.

LE PRÉSIDENT. — L'objection est valable.

M. BLANC. — L'objection est valable dans la mesure où la fragmentation d'un échantillon de bois peut avoir pour effet d'obtenir un ensemble dont la somme des capacités calorifiques des différentes parties est susceptible de différer de la capacité calorifique de l'échantillon initial. Théoriquement je ne vois aucune raison de soupçonner, dans le cas présent, les capacités calorifiques de n'être pas additives comme des masses. Si, pratiquement, la réduction en copeaux s'accompagne de l'emprisonnement d'une certaine quantité d'air, la capacité calorifique de l'air entraîné est tout à fait négligeable et il serait aussi déraisonnable d'en tenir compte que d'opérer, par exemple, une correction de poussée de l'air sur le résultat d'une pesée commerciale courante.

L'objection qui n'a pas été faite mais qui nous paraît la plus valable concerne le risque de modification chimique du bois par chauffage trop poussé (à l'occasion du séchage en particulier). Cette possibilité est peut-être la cause des importantes divergences constatées entre les résultats obtenus par différents auteurs.

L'Institut du Bois recommande de ne pas dépasser une durée de séchage de 24 heures à une température de 105°. Nous nous sommes toujours tenus à l'intérieur de ces limites.

La liste des noms et adresses des participants aux Journées internationales de chauffage, ventilation et conditionnement d'air a été établie par les soins de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics et sera adressée à toute personne qui en fera la demande en joignant à la lettre 50 F en timbres-poste.

A la fin des Journées, et sur la demande de certains auditeurs, la discussion a été reprise en ce qui concerne les conduits de fumée unitaires. Il n'est pas possible de reproduire ici le texte complet de la discussion, ouverte par M. Herody et qui a porté essentiellement sur le risque que présentaient ces conduits. Des interventions de MM. Pabanel et Fournol il résulte que le plus grand obstacle à l'utilisation de ces conduits est qu'en fait, la responsabilité juridique de leur emploi est laissée par l'Administration aux installateurs.

NOVEMBRE 1952

Cinquième Année, N° 59.

DOCUMENTATION TECHNIQUE

SERVICE DE DOCUMENTATION

L'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics peut en général fournir la reproduction *in extenso* des documents figurant à l'Index analytique de documentation : sur microfilms négatifs de 35 mm qui peuvent être lus en utilisant soit un agrandisseur photographique courant, soit un lecteur de microfilms ou sur papiers positifs pour lecture directe.

Les demandes de documents doivent comporter le numéro d'ordre placé en tête de l'analyse, le titre du document et le nom de l'auteur.

Prix des reproductions photographiques :

Microfilms : la bande de 5 images (port en sus)..... 100 F

Positifs sur papier : la page (port en sus) :

Format 9 × 12.....	70 F
13 × 18.....	90 F
18 × 24.....	110 F
21 × 27.....	150 F
Minimum de perception.....	250 F

Ces prix sont susceptibles de variation.

Pour tous renseignements, s'adresser à l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 28, boulevard Raspail, Paris-VII^e.

SOMMAIRE

DOCUMENTATION TECHNIQUE LIX

RÉUNIE EN

AOÛT 1952

	Pages.
I. — INDEX ANALYTIQUE DE DOCUMENTATION..	1202
Architecture et Urbanisme.....	1202
Sciences de l'Ingénieur.....	1202
Les Arts de la Construction.....	1203
Les Ouvrages.....	1210
II. — TRADUCTIONS.....	1215
III. — BIBLIOGRAPHIE.....	1216
IV. — NORMALISATION.....	1216

I. — INDEX ANALYTIQUE DE DOCUMENTATION

Les références de chaque article sont données dans l'ordre suivant : Numéro d'ordre, titre de l'article, nom de l'auteur, nom de la revue, date, numéro du fascicule, nombre de pages, nombre de planches.

Conformément aux recommandations faites par le Conseil International de Documentation du Bâtiment (C. I. D. B.), les analyses présentées dans la **Documentation Technique** comportent leur indexation suivant les notations de la Classification Décimale Universelle (CDU). Les analyses sont publiées dans la **Documentation Technique** dans l'ordre des rubriques de la classification, du système CORDONNIER, mise au point il y a quelques années pour le rangement du fichier de documentation de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics.

B. — ARCHITECTURE ET URBANISME

1-59. Tour d'horizon sur l'architecture internationale moderne (Querschnitt durch die internationale Architektur der Gegenwart). LORENZ (K. R.); *Heraklith Rundschau*, Autr. (avr. 1952), n° 18, 47 p., 117 fig., 21 réf. bibl. (résumé français). E. 21139.

CDU 72.

2-59. Je construis ma maison sans capitaux. (Prêts et primes, Matériaux. Mise en œuvre). MONDIN (Ch.); Éd. : Dunod, Paris (1952), 1 vol. 196 p., 107 fig., réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-714 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 58. E. 21155.

CDU 711 : 690.031 (02).

3-59. Italie-Habitation. *Archit. Auj.*, Fr. (juin 1952), n° 41, LVIII + 96 p., nombr. fig. — Numéro consacré à l'architecture moderne en Italie; ses tendances. Nombreuses monographies d'immeubles urbains et ruraux. E. 21249.

CDU 711 : 728

C. — SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

4-59. Manuel de l'ingénieur. Ed. : Libr. polytech. Ch. Béranger, Paris, Liège, Belg. (1952), t. 3, 1^{re} part., 1 vol., XXIII + 483 p., 829 fig., nombr. réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-719 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 58. E. 21464

CDU 62 : 690 (02).

5-59. Troisième rapport annuel de l'Organisation du Commonwealth d'Australie pour les recherches scientifiques et industrielles (pour l'année finissant le 30 juin 1951) (Third annual report of the Commonwealth scientific and industrial research organization for the year ending 30th June, 1951). *Parliament Commonwealth Austral.*, Austral. (1951), 167 p. E. 21721.

CDU 69 : 5 (061.3).

Ca RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

6-59. Contraintes dues à la température et aux pressions intérieures et extérieures dans les cylindres circulaires creux à paroi épaisse (Stresses in thick hollow circular cylinders due to temperature and to internal and external pressure). ZANGAR (C. N.), BRAHTZ (J. H. A.); *U. S. Dept. Int., Bur. Reclamat.*, U. S. A. (juin 1940), *Tech. Memor.*, n° 605, 15 p., 14 fig. h. t. — Étude de quatre problèmes : 1° Effet d'une température logarithmique; 2° Effet du refroidissement uniforme; 3° Effet d'une pression interne uniforme; 4° Effet d'une pression extérieure uniforme. E. 21298.

CDU 621.434 : 539.37 : 536.5.

7-59. Méthode nouvelle de détermination des contraintes en élasticité plane. DANTU (M.); *Ann. Ponts Chauss.*, Fr. (juil.-août 1952), n° 4, p. 375-405, 52 fig. (résumé anglais). — Correspondance (en raison de l'analogie entre l'équation de Lagrange et l'équation d'Airy) entre les contraintes de l'élasticité plane et les

éléments de la courbure de la plaque de même contour, si celle-ci ne supporte aucune charge et si les conditions au contour pour la plaque correspondent aux conditions au contour de l'élasticité plane. On peut ainsi appliquer au problème de l'élasticité plane la méthode optique de détermination des courbures des plaques. A titre d'exemple, la méthode est appliquée au problème du carré pressé par deux forces opposées. La comparaison avec les résultats de la photo-élasticité est satisfaisante. E. 21571.

CDU 690.43 : 620.1.

8-59. La capacité portante de poutres statiquement indéterminées constituées de matériaux dépourvus de résistance à la traction (Die Tragfähigkeit statisch unbestimmter Tragwerke aus Baustoffen ohne Zugfestigkeit). CRAEMER (H.); tiré à part de *Oesterr. Bauztg.*, Autr. (1952), n° 4-5, p. 53-81, 21 fig., 8 réf. bibl. — Théorie et principes. Contraintes longitudinales. Procédés. Poutres triplement indéterminées. Degré de sécurité. Essais et observation. E. 21606.

CDU 690.237.22 : 518.5.

9-59. Portiques continus soumis à des vibrations forcées en régime permanent (Steady-state forced vibration of continuous frames). LOONEY (C. T. G.); *Proc. A. S. C. E. (Struct. div.)*, U. S. A. (juin 1952), vol. 78, *Separ.* n° 136, 21 p., 9 fig. — E. 21306.

CDU 693.9 : 539.37.

10-59. Travaux récents dans l'étude des problèmes de flambement (Recent developments in the study of buckling problems). DONNEL (L. H.); *Appl. Mech. Rev.*, U. S. A. (juil. 1952), vol. 5, n° 7, p. 289-290. — E. 21513.

CDU 539.37.

Cac n Procédés de calcul.

11-59. Formules élémentaires pour le calcul des poutres, arcs et portiques à plan moyen.

BLAISE (P.); *Ann. Ponts Chauss.*, Fr. (juil.-août 1952), n° 4, p. 407-461, 18 fig. (résumé anglais). — Exposé dans le cadre de la méthode de Ritter, de formules d'application immédiate permettant le calcul des poutres, arcs et portiques à plan moyen, quels que soient leur tracé, leur loi de variation des sections droites et les systèmes de forces appliquées. On donne comme applications numériques le calcul d'une poutre droite à quatre travées, d'un portique à deux arcs encastres reposant sur une pile intermédiaire flexible. E. 21571.

CDU 690.2 : 518.5.

12-59. Détermination préalable des contraintes dans une construction sous une charge dynamique arbitraire (Prediction of stresses in a structure under an arbitrary dynamic loading). PLAN (T. H. H.), SIDDALL (J. N.); *Proc. Soc. Exper. Stress Analysis*, U. S. A. (1952), vol. 9, n° 2, p. 1-12, 14 fig., 6 réf. bibl. — Description d'une méthode pour déterminer la contrainte en un point quelconque d'une construction élastique complexe quelconque sous une charge dynamique arbitraire. On démontre théoriquement que la réponse des contraintes à une force oscillant harmoniquement en un point donné de la construction peut être utilisée pour prévoir la réponse à une force arbitraire quelconque en ce même point. Description et résultats d'essais. Réponse à une charge subitement supprimée. Discussion. E. 21373.

CDU 539.37 : 518.5.

13-59. Dalles rectangulaires fléchies dans deux directions (Rectangular slabs spanning in two directions). CRAEMER (H.); *Concr. Constr. Engng.*, G.-B. (juil. 1952), vol. 47, n° 7, p. 195-201, 5 fig. — Étude effectuée d'après les types de ruptures. Dalles appuyées sur quatre côtés avec charge uniformément répartie ou sur trois côtés avec répartition triangulaire des charges. E. 21297.

CDU 691-413 : 518.5.

14-59. Nouveaux procédés pour le calcul des poutres continues et des portiques rigides (Neue Verfahren zur Berechnung durchlaufender Träger und steifer Rahmen). MÜLLENHOFF (A.); *Stahlbau*, All. (juil. 1952), n° 7, p. 105-111, 34 fig. — E. 21258.

CDU 690.237.22 : 693.9 : 518.5.

15-59. Résolution du problème du flambement dans un plan par la méthode d'itération (Lösung des ebenen Knickproblems durch Iteration). BÜLTMANN (W.); *Stahlbau*, All. (juil. 1952), n° 7, p. 112-117, 22 fig. — E. 21258.

CDU 539.37 : 518.5.

16-59. Résistance de la dalle circulaire d'épaisseur variable avec charge et liaison symétrique. II. (fin) (Resistenza della piastra circolare di spessore variabile scaloidamente con carico e vincolo simmetrici). CATTIN (A.); *G. Genio civ.*, Ital. (mai 1952), n° 5, p. 257-264, 4 fig. — E. 21141.

CDU 691-413 : 518.5.

Caf Essais et mesures.

17-59. Appareils pour la mesure du cisaillement à la torsion et méthodes d'essai (Torsion shear apparatus and testing procedures). HVOORLEV (J.), KAUFMAN (R. I.); *Corps Engrs*, U. S. Army (Waterways Exper. Stn, Vicksburg, Miss.), U. S. A. (mai 1952), n° 38, vi + 76 p., 38 fig., 16 réf. bibl. — Principes. Évaluation et comparaison des essais. Appareils de cisaillement de torsion. Banc d'essai et disposition générale. Appareil proprement dit. Système vertical et couple de chargement. Méthodes d'essai. Étalonnage des appareils. E. 21514.

CDU 620.15 : 539.37.

18-59. Note sur divers extensomètres utilisés dans les études sur le bâtiment (Some strain gauges used in building research). B. R. S. (Dept Sci. Industr. Res.), G.-B. (mai 1952), n° A. 33, 9 p., 2 fig. h. t. — Appareils : Redshaw Acoustic, Huggenberger, Lamb, de Forest, Lindley, à fil résistant, Whittemore. E. 21363.

CDU 620.105 : 691.

19-59. Mesure des déformations par les extensomètres mécaniques. Applications au laboratoire et dans les ouvrages (Medição de deformações com extensómetros mecanicos. Aplicações no laboratório e nas obras). ARCA E LIMA (J. d.); *Minist. Obras Publ.* (Lab Engenharia Civ), Portug. (1951), Publ. n° 19, 36 p., 44 fig. (résumés français et anglais). — E. 21148.

CDU 620.105 : 691.

20-59. Technique et utilisation des extensomètres à résistance électrique II. ZELBSTEIN (U.), *Bull. tech. Bur. Veritas*, Fr. (juil. 1952), n° 7, p. 119-125, 10 fig. — Détermination du coefficient de sensibilité transversale de l'influence de la température, de l'effet thermo-électrique dans les jauges. Technique d'application : préparation de la surface, collage, séchage et contrôle du séchage, protection contre l'humidité. E. 21322.

CDU 620.108.

21-59. Vérification des contraintes. Méthode rapide pour le contrôle des contraintes (Stress-probing : a rapid method for stress-surveying). GROSS (N.), LANE (P. H. R.); *Engineering*, G.-B. (25 juil. 1952), vol. 174, n° 4513, p. 97-100, 11 fig., 6 réf. bibl. — Postes de mesure. Répartition des extensomètres. E. 21550.

CDU 690.43 : 620.17 : 681.208.

22-59. Étude de constructions sur modèles réduits. I. (Structural analysis by models.). PELL (P. S.), THOMPSON (N. E.), COATES (R. C.); *Civ. Engng*, G.-B. (juil. 1952), vol. 47, n° 553, p. 559-561, 6 fig., 4 réf. bibl. — Méthodes directes et indirectes. Matériaux. Échelle du modèle. Comparaison des résultats. E. 21326.

CDU 620.015.7.

Ce MÉCANIQUE DES FLUIDES

23-59. Principes généraux de la théorie de la couche limite (Algemene grondslagen van de grenslaagtheorie). TIMMAN (R.); *Ingenieur*, Pays-Bas (28 mars 1952), n° 13, p. L-6-L.10, 6 fig., 9 réf. bibl. — Méthode de réduction de l'équation de Navier-Stokes, équation des moments. Brève étude des couches de transition laminaires turbulentes et des couches limites turbulentes. E. 19792

CDU 532 : 518.5.

24-59. Formules du mouvement uniforme en hydraulique fluviale (Formulas del movimiento uniforme en hidraulica fluvial). LOPEZ NIETO (A.); *Inform. Constr.* (Inst. tec. Constr. Cimento), Esp. (mai 1952), n° 41, p. 533.8/1-533.8/10, 6 fig., 14 réf. bibl. — E. 21288.

CDU 532.5 : 518.5.

25-59. Emploi de modèles réduits dans l'élaboration de plans d'ouvrages de mesure et de répartition de l'eau. DOMINGUEZ (F. J.); *Rev. gén. Hydraul.*, Fr. (juil.-août 1951), n° 64, p. 171-176, 8 fig., 8 réf. bibl. — Traduction de l'étude présentée à la Section Tech. Eau de la Conférence Sci. O.N.U. E. 21233.

CDU 533.6 : 620.1.

26-59. Contribution à l'étude de la filtration des eaux. Essai d'une synthèse de l'hydraulique des filtres. VIBERT (A.); *Génie civ.*, Fr. (1^{er} juil. 1952), t. 129, n° 13, p. 248-251, 2 fig., 4 réf. bibl. — Étude de la répartition des pressions dans une masse filtrante. Équation de la courbe des gradients de perte de charge. Calcul de l'épaisseur du lit filtrant. Lieu des points de pénétration maximum. E. 21132.

CDU 532.

Ci GÉOPHYSIQUE

Cib m Étude des sols.

27-59. Le sol et ses propriétés (Soil and soil properties). *Constr. Rev.*, Austral. (juin 1952), vol. 25, n° 2, p. 29-37, 3 fig. — Classement des sols. Frottement interne. Cohésion. Élasticité.

Imperméabilité. Cohésion. Perméabilité. Teneur en humidité. E. 21538.

CDU 624.131.

28-59. Étude du sol au cours des travaux préparatoires et de l'exécution des constructions I à IV (fin) (Ueber Bodenuntersuchungen bei Vorarbeiten und Ausführung von Ingenieurbauten). *Allg. Bau-Ztg.*, Autr. (14 mai 1952), n° 298, p. 3-4; (21 mai 1952), n° 299, p. 3-4; (28 mai 1952), n° 300, p. 3-4; (4 juin 1952), n° 301, p. 6-8. — E. 21409, 21410, 21411, 21412.

CDU 624.131.4.

29-59. Le problème fondamental du tassement des couches argileuses. I. II. SERRE (F.); *Génie civ.*, Fr. (15 juil. 1952), t. 129, n° 14, p. 263-266, 1 fig., 2 réf. bibl.; (1^{er} août 1952), t. 129, n° 15, p. 286-289, 1 fig. — Solution mathématique complète du problème du tassement dans l'hypothèse d'une couche d'argile plane, d'épaisseur infinie, surmontée d'une couche perméable de hauteur h, en partant des équations indéfinies de la mécanique des sols de M. FERRANDON. Développement des calculs. E. 21286, 21621.

CDU 624.131.4 : 552.52.

30-59. Méthode d'interprétation et d'exécution des épreuves de charge sur les terrains et sur les superstructures des routes. I. II. (Su un metodo di interpretazione e di esecuzione delle prove di carico sui terreni e sulle sovrastrutture stradali). MARESCA (G.); *Ingegnere*, Ital. (juil. 1952), n° 7, p. 801-806, 9 fig., 28 réf. bibl.; (août 1952), n° 8, p. 919-925, 12 fig., 7 réf. bibl. — E. 21502, 21729.

CDU 625.731 : 624.131.620.1.

31-59. L'étude des glissements de terrain (Analysis of landslides). *Highw. Res. Board*, U. S. A. (Nation. Acad. Sci.) (1952), Bull. 49, publ. 220, 39 p., 23 fig., 33 réf. bibl. — E. 21553.

CDU 624.131.4.

32-59. Plantations pour combattre l'érosion (Ground-cover plants for erosion control). *Highw. Res. Board* (Highw. Res. Correlat. Serv.) U. S. A. (juin 1952), Circ. n° 166, 8 p., 6 réf. bibl. E. 21153.

CDU 624.131.4 : 699.8.

Co Conditions générales.

Cod 1 Normalisation.

33-59. Annales des normes britanniques (British Standards Institution Yearbook). Éd. : British Standards Instn. Londres, G.-B. (1952), 1 vol., 460 p. — Voir analyse détaillée B-725 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 60. E. 21030.

CDU 389.6 (02).

34-59. Bâtiment et Génie civil (Normes). *Courrier Normalis.*, Fr. (juil.-août 1952), n° 106, p. 244-245, 1 fig. — Énumération des nouvelles normes et projets de normes relatives au Bâtiment et au Génie civil : Cahier des clauses et conditions générales applicables aux travaux de bâtiments, ciments, tuyaux amiante-ciment, menuiserie métallique, quincaillerie, serrurerie, couverture, ascenseurs. E. 21450.

CDU 690 : 389.6.

D. — LES ARTS DE LA CONSTRUCTION

35-39. Encyclopédie pratique du bâtiment et des travaux publics. Éd. : Libr. Aristide Quillet, Paris (1952), 3 vol., t. 1, vii + 989 p., nombr. fig., 27 pl. h. t.; t. 2, 1035 p., nombr. fig., 11 pl. h. t.; t. 3, 1016 p., nombr. fig., 7 pl. h. t., nombr. réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-717 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 58. E. 21589, 21590, 21591.

CDU 690 (02).

36-59. Vocabulaire technique en quatre langues (Lexikon technikon orón cis tessaras glossas). XALKIOPOULOU (G.); Éd. : Chambre Technique de Grèce; Athènes, Grèce (1951), 1 vol., 886 p. — Voir analyse détaillée B-733

au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 60. — E. 21303.

CDU 690 (03).

37-59. Cahier formulaire de prix de revient pour travaux de bâtiment (Gros-œuvre). HENRY (P.); Éd. : Dunod, Paris (1952), 1 vol., v + 154 p., nombr. réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-715 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 58. — E. 21159.

CDU 690.031 (02).

38-59. Construction. Mise au courant n° 3. Éd. : Technique Ingr., Paris (mai 1952), 34 p., nombr. fig. — Cette « Mise au courant » constitue un abonnement servi aux possesseurs du volume « Construction ». — Voir ana-

lyse détaillée B-718 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 58. — E. 21501.

CDU 690 (02).

Dab MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

39-59. Économie sur les matériaux de construction (Economy of building materials). MOLE (Ch. J.), WHITAKER (F. A.), FRETWELL (G. H.), GRAND (L. D.); M. O. W., G.-B. (1952), 64 p. — Rapport divisé en six chapitres :

Bâtiment. Constructions lourdes du Génie Civil. Entretien. Aérodomes. Technique mécanique et électrique. Mémoire sur l'économie à assurer dans l'emploi du béton. E. 21574. CDU 691 : 690.031.

40-59. Sur l'essai des matériaux de construction (Ueber die Prüfung von Baustoffen) EWERS (N.); *Bauplan. Bautech.*, All. (avr. 1952), n° 7, p. 162-165. — Propriétés des matériaux; leur vérification. Essais rapides. Rôle des bureaux d'épreuve des matériaux. E. 21476. CDU 691 : 620.1.

Dab j Matériaux métalliques.

41-59. Les profilés façonnés à froid dans la pratique de la construction. Normalisation proposée (Cold formed sections in structural practice with a proposed design specification). SHEARER SMITH (W.); *Struct. Engr.*, G.-B. (juin 1951), n° 6, p. 165-178, 33 fig., 34 réf. bibl. — Introduction relative au procédé de laminage à froid, au domaine d'application des laminés façonnés à froid, aux méthodes d'assemblage et aux opérations annexes. Indication des contraintes admissibles pour les éléments de faible épaisseur en tenant compte des conditions d'instabilité. Les spécifications de calcul indiquées sont appliquées à des exemples et on fait ressortir l'économie réalisée par rapport à l'emploi d'autres profilés. E. 21401. Traduction I. T. n° 328, 39 p. CDU 691.71 : 389.6.

Dab l Matériaux rocheux. Pierres.

42-59. Matériaux de construction provenant de l'industrie de l'argile et de la pierre. Production, qualité, répartition et prix (Byggnadsmaterial från jordoch stenindustrin. Produktion, kvalitet, distribution och prissättning). TENGVIK (N.). *Stat. Kommit. Byggnadsforsk.*, Suède (1952), Meddel., n° 20, 50 p., 14 fig., 112 réf. bibl. (résumé anglais). — E. 21542. CDU 691.

43-59. Normes portugaises : L'ardoise (Ardozia). *Minist. Obras Publ.* (Lab. Engenharia Civ.), Portug. (E 2-1952), série B, n° 3 E 5, 7 p. — E. 21151. CDU 691.214.2 : 389.6.

Dab lam Asphaltes et bitumes.

44-59. De la nature colloïdale du bitume (Zur Kolloidnatur des Bitumens). *Bitum. Teere. Asph. Peche-ver. Stoffe*, All. (juil. 1952), n° 7, p. 176-179, 3 fig., 17 réf. bibl. — E. 21537. CDU 691.161.

Dab le Liants. Chaux. Plâtre. Ciments.

45-59. Essai du ciment sur le chantier (Zementprüfung auf der Baustelle). CZERNIN (W.); *Oesterr. Bauztg.*, Autr. (5 juil. 1952), n° 27, p. 8. — E. 21206. CDU 691.54 : 620.1.

46-59. La chimie du ciment Portland. BOGUE (R. H.); Éd.: Eyrolles, Paris (1952). 1 vol., xv + 586 p., 302 fig., nombr. réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-711 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 58. — E. 21418. CDU 691.542 (02).

47-59. Répartition hétérogène de la chaux libre dans le clinker de ciment Portland (Die heterogene Verteilung des freien Kalks im Portlandzement-Klinker). CALLEJA (J.); *Zement Kalk-Gips*, All. (juil. 1952), n° 7, p. 206-208, 1 fig., 3 réf. bibl. (résumés anglais et français). — E. 21403. CDU 691.54.

48-59. Le ciment sursulfaté par temps de gel (Gipschlackenzeit bei Frost). POHL (G.);

Zement-Kalk-Gips, All. (juil. 1952), n° 7, p. 219-222, 10 fig. (résumés anglais et français). — E. 21403. CDU 691.54 : 699.8.

49-59. Chimie-physique et résistance des ciments. ROOS (A.); Éd.: Tech. Document., Paris (1952), 1 vol., 57 p., 45 fig., 25 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-720 au chap. III « Bibliographie ». — E. 21251. CDU 691.54 (02).

50-59. Les différents types de ciments et leurs utilisations. WAHL (P.), DURIEZ (M.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (juil.-août 1952), n° 55-56 (Liants hydraul. X), p. 711-726 (résumé anglais). — Rappel des modalités de la normalisation française des ciments. Propriétés et mode d'emploi des ciments normalisés. Caractéristiques et emplois des principaux ciments non normalisés (alumineux, à prise rapide, pouzzolaniques, expansifs, etc.). Emploi et mise en œuvre dans les divers cas (béton armé, routes, béton mis en œuvre en usine, mortier, etc.). E. 21724. CDU 691.54 : 389.6.

51-59. Détermination des alcalis dans les ciments et les pâtes crues à l'aide du photomètre système Riehm-Lange (Bestimmung der Alkalien in Zementen und Rohmehlen mit dem Flammenphotometer nach Riehm-Lange). GILLE (F.); *Zement-Kalk-Gips*, All. (juil. 1952), n° 7, p. 208-213, 13 fig., 4 réf. bibl. (résumés anglais et français). — E. 21403. CDU 691.54 : 620.1.

52-59. La fausse prise des ciments. LHOPI-TALLIER (P.), STICLITZ (P.), VIDAL (R.); *Rev. Matér. Constr. Ed. C*, Fr. (juil. 1952), n° 442, p. 181-187, 10 fig. (résumé anglais). — Recherche du mécanisme le plus probable des fausses prises. Vérification des diverses hypothèses. Il ressort des expériences que la fausse prise est attribuable à l'hydratation et à la cristallisation indépendante d'une fraction du sulfate de chaux semi-hydraté présent dans le ciment du fait des températures élevées atteintes dans les broyeurs. Remèdes à apporter par le cimentier et l'utilisateur. E. 21570. CDU 691.54.

Dab lel r Sous-produits industriels.

53-59. Importante installation pour la production du laitier (Grossanlage zur Erzeugung von Hüttenbims). *Bauwirtschaft*, All. (9 août 1952), n° 32, p. 730, 1 fig. — E. 21681. CDU 691.322.55 : 725.4.

Dab lem r Briques. Tuiles. Poteries.

54-59. La fissuration dans les carreaux céramiques (A fissuração nos azulejos). FERNANDES (A. R. J.); *Minist. Obras Publ.* (Lab. Engenharia Civ.), Portug. (nov. 1951), C. I. T., n° 4, série B-5, 7 p. — E. 21149. CDU 691.833 : 691.42 : 690.592.

Dab m Bois et matériaux à base de bois.

55-59. Pratique du transport moderne des bois (Die Praxis des neuzzeitlichen Holztransportes). HAFNER (F.); Éd.: Georg Fromme und Co, Vienne, Autr. (1952), 1 vol., viii + 295 p., 265 fig., 93 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-732 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 60. — E. 21095. CDU 691.1 : 634.9 : 621.874 (02).

56-59 Application du calcul à l'étude des propriétés des bois d'œuvre (Applications of component analysis to the study of properties of timber). WILLIAMS (E. J.); *Austral. J. appl. Sci.*, Austral. (juin 1952), vol. 3, n° 2, p. 101-118, 6 fig., 7 réf. bibl. — E. 21619. CDU 691.11.

57-59. Une technique du micro-essais sur les bois (A micro-testing technique for wood). KLOOT (N. H.); *Austral. J. appl. Sci.*, Austral.

(juin 1952), vol. 3, n° 2, p. 125-143, 15 fig., 11 réf. bibl. — E. 21619. CDU 691.11 : 620.1.

58-59. Les champignons dans l'habitation (Schwamm im Haus). WÜNSCHE (M.); Éd.: Druckhaus Tempelhof, Berlin, All. (1952), 1 vol., 180 p., 25 fig., 21 fig. h. t. — Voir analyse détaillée B-729 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 60. — E. 20985. CDU 691.11 : 620.193.82 : 699.8 (02).

Dab mo Matières plastiques.

59-59. Vocabulaire anglais des termes en usage dans l'industrie des matières plastiques (Glossary of terms used in the plastics industry). B. S. I., G.-B. (1951), B. S. 1755, 59 p. — Répertoire de près de huit mille mots avec leurs définitions. E. 21268. CDU 678.7 (03).

Daf SÉCURITÉ DES CONSTRUCTIONS

Daf m Stabilité des constructions.

60-59. Méthodes dites « du degré de fixité » pour certains problèmes d'oscillations d'un bâtiment (Degree of fixity methods for certain sway problems). WOOD (R. H.), GOONWIN (E.); *Struct. Engr.*, G.-B. (juil. 1952), vol. 30, n° 7, p. 153-162, 13 fig., 10 réf. bibl. — Avantage de la notion de « rigidité équivalente ». Extension à la résolution de deux importants problèmes : la charge du vent sur les bâtiments à étages multiples et les poutres continues sur supports élastiques. E. 21136. CDU 728.2 : 534.

61-59. Application du principe de Greenberg et Prager à la détermination graphique du facteur de sécurité contre l'effondrement de poutres d'après le principe de la charge supportée (Eine Anwendung des Prinzips von Greenberg und Prager zur graphischen Ermittlung des Sicherheitsfaktors gegen Kollaps von Trägern nach dem Traglastverfahren). CHMELKA (F.); *Abhdlg. Dokum. Tech. Wirtschaft*, Autr. (1952), n° 9, 22 p., 15 fig., 1 réf. bibl. — E. 21414. CDU 690.237.22 : 518.5.

Deb INFRASTRUCTURE ET MAÇONNERIE

Deb ja Consolidation du sol. Assèchement. Drainage.

62-59. Du sable déversé provisoirement sur du terrain meuble en accélère la consolidation (Sand over muck). MANN (R. L.); *U. S. Navy Civ. Engr. Corps, Bull.*, U. S. A. (juil. 1952), vol. 6, n° 7, p. 183-187, 9 fig. — 600 000 m³ de déblais hydrauliques, déversés sur un mauvais terrain à titre de surcharge temporaire jusqu'à un niveau supérieur de 3 m au-dessus du niveau définitif ont accéléré la consolidation d'un sol de capacité portante médiocre sur lequel on a établi une piste d'envol. La surcharge a été enlevée après 2 mois et demi. Courbes de tassement. E. 21371. CDU 624.138 : 629.139.1.

63-59. Étude du durcissement électro-chimique de l'argile. I. (A study of the electrochemical hardening of clay). KOLBUSZEWSKI (J.); *Civ. Engng.*, G.-B. (juil. 1952), vol. 47, n° 553, p. 556-558, 6 fig., 14 réf. bibl. — Composition des argiles. Procédé de durcissement dit « électro-osmose ». Résultat d'essais avec des pieux d'essai en aluminium. E. 21326. CDU 624.131.437.36 : 553.611.

64-59. Une nouvelle méthode d'assèchement facilite les constructions sur sols humides.

Bâtiment, Fr. (5 juil. 1952), n° 27, p. 8, 2 fig. — Description de la méthode d'assèchement de l'ingénieur américain John W. Stang consistant à drainer d'une manière permanente la surface de construction par un équipement de pompage. Etablissement du plan d'assèchement. Matériel de drainage à utiliser. Installation du matériel. Exemples d'assèchement réalisés. E. 21145. CDU 631.6 : 624.131.

Deb je Terrassements.

65-59. **Le creusement des galeries au rocher.** I. FEGER; *Monde souterr.*, Fr. (juin 1952), n° 71, p. 737-745, 10 fig. — État actuel de la question du creusement de galeries au rocher à la lumière du Congrès de 1949 de la Société de l'Industrie Minière. Différentes phases du creusement des galeries : Perforation mécanique (méthodes américaine et suédoise), matériel de perforation. Plans de tir, chargement et tir des mines. Enlèvement des déblais ou marinage, engins mécaniques. E. 21508. CDU 624.13 : 624.19.

Deb ji Fondations.

66-59. **Étude d'une fondation sur le terrain au moyen des extensomètres à résistance électrique** (Electric strain gage field analysis of a foundation structure). ASCHERMAN (J. C.); *Proc. Soc. Exper. Stress Analysis*, U. S. A. (1952), vol. 9, n° 2, p. 125-132, 6 fig. — E. 21373. CDU 624.131 : 624.15 : 620.1.

67-59. **Étude des groupes de pieux** (Analysis of groups of piles). WILKINS (R. J.); *Concr. Constr. Engng.*, G.-B. (juil. 1952), vol. 47, n° 7, p. 209-211, 4 fig. — Méthode semi-graphique basée sur les déplacements. E. 21297. CDU 624.154 : 518.5.

68-59. **Fondations pour machines.** PETIT (J. M.); *Bâtir*, Fr. (juil. 1952), n° 23, p. 6-11, 17 fig., 11 réf. bibl. — Principe de l'isolement antivibratile des machines. Cas des machines reposant sur un massif de fondation à charge du sous-sol de fondation. Suspension élastique, constitution du massif. Cas particulier des fondations de marteaux-pilons. Machines sans massif de fondation : pose sur dalle de béton sur châssis métallique. Isolement des constructions. E. 21539. CDU 624.15 : 699.84.

69-59. **Fondation pour un grand turbo-générateur** (Foundation for a large turbogenerator). ROGERS (P.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (nov. 1951), p. 213-222, 6 fig., 5 réf. bibl. — Exposé d'une méthode pratique pour l'étude de la construction des fondations en béton armé d'un grand turbo-générateur. Moyen d'évaluer les charges et forces agissant sur la fondation. Calcul d'un cadre transversal et avantage des poutres en acier enrobées pour résister aux forces horizontales. E. 21305. Trad. I. T. 335, 12 p. CDU 624.154 : 693.97.

70-59. **Pieux en béton en Hollande** (Concrete piles in Holland). VAN DER MEULEN BOSMA (P. F.); *Concr. Constr. Engng.*, G.-B. (juil. 1952), vol. 47, n° 7, p. 217-221, 17 fig. — E. 21297. CDU 624.54 : 693.54.

Deb li Bétons.

71-59. **Manuel du béton** (Concrete manual). Éd. : U. S. Dept Int. Bur. Reclamat., Denver, U. S. A. (1951), 5^e édit., 1 vol., vi + 489 p., 202 fig., nombr. réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-726 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 60. — E. 21302. CDU 691.32 (02).

72-59. **Étude d'un essai international des bétons.** Bull. Réunion Lab. Essais Recherches Matér. Constr., Fr. (juil. 1952), n° 9, p. 25-49, 8 fig., 11 fig. h. t. — Compte rendu de l'état d'avancement des travaux d'une commission chargée d'étudier le programme suivant : 1^o Essais sur béton durci : a) Définition du prélèvement sur chantier, b) Définition des

essais mécaniques de laboratoire, c) Définition des essais hydrauliques et physiques de laboratoire. 2^o Essais sur béton frais. Les conclusions portent sur le prélèvement, les moules pour essai de compression, les machines d'essai, l'essai de traction-flexion, l'essai de traction-écrasement, la mesure du coefficient d'élasticité et le coefficient de Poisson, les essais divers, l'essai d'affaissement. Note sur le dosage des éprouvettes de béton. E. 21471. CDU 691.328 : 620.1.

73-59. **Contrôle de la qualité du béton en Angleterre** (Betongüteprüfung in England). MÜLLER (H. E.); *Strassen-Tiefbau*, All. (juil. 1952), n° 7, p. 199-203, 12 fig. — Rapport eau-ciment; maniabilité, compaction, ségrégation. Contrôle de la consistance sur le chantier. E. 21663. CDU 691.328.2.

74-59. **Teneur en acide carbonique de l'eau, nécessaire pour l'attaque du béton et méthode pour la déterminer** (A viz Betonra Aggressziv Szénsav Tartalma és Annak Kiszámítása). PAPP (S.); *Magyar Mernok Épitészegylet Közlönye* (1944). Édit. spéc. n° 10, 29 p. dactylogr., 7 fig., 6 réf. bibl. — Détermination de l'acide carbonique agressif pour le béton dans les eaux contenant du magnésium et des hydrocarbonates d'alcalis (A Betonra Aggressziv Szénsav Kiszámítása Magnézium és Alkalihidrokarbonat Tartalmu Vizekben). PAPP (S.); *Magyar Mernok Épitészegylet Közlönye*, Hongrie (1944). Édit. spéc. n° 13, 9 p. dactylogr., 2 fig., 5 réf. bibl. — Dans la première partie : expériences sur l'influence des composés du calcium de solutions d'hydrocarbonate de calcium de valeur pH et de teneur en acide carbonique libre différente. Teneur en acide carbonique combiné et en acide carbonique libre, correspondant à leur valeur de pH, de différentes eaux à dureté variable, ainsi que leur valeur pH d'équilibre à 15^o C. Exposé de la méthode employée pour le calcul de l'acide carbonique libre agressif pour le béton. Valeurs de pH des eaux de diverses duretés qui rendent ces eaux agressives pour le béton. Dans la deuxième partie : méthode de calcul de l'acide carbonique agressif au cas des eaux qui contiennent à côté de l'hydrocarbonate de calcium, du magnésium et de l'hydrocarbonate d'un alcali. E. 21304. Trad. I. T. 330. CDU 691.328 : 620.19.

75-59. **Nouveau mode de représentation du béton frais. Représentation triangulaire ou barycentrique.** LEVIANT (I.); *Tech. mod. Constr.*, Fr. (juil. 1952), t. 7, n° 7, p. 209-214, 8 fig. — Volume absolu des agrégats; volume absolu du ciment et somme des volumes absolus de l'eau et de l'air. Utilisation de la représentation. E. 21451. CDU 691.322.

76-59. **Mesure de la teneur en humidité des agrégats** (Measuring moisture content of aggregates). MCINTOSH (J. D.); *Constr. Rev.*, Austral. (juin 1952), vol. 25, n° 2, p. 20-28, 4 fig., 4 réf. bibl. — E. 21538. CDU 691.322 : 697.942.

77-59. **Normes portugaises pour les agrégats du béton** (Inertes). Minist. Obras Publ. (Lab. Engenharia Civ.), Portug. (E 3-1952). Série B, n° 5, 18 p., 2 fig. — E. 21150. CDU 691.328 : 389.6.

78-59. **La maniabilité du béton et sa mesure.** LA PENA (C. de); *Bull. Réunion Lab. Essais Recherches Matér. Constr.*, Fr. (avr. 1952), n° 8, p. 51-107, 37 fig. — E. 20884. CDU 691.328.

79-59. **Projet de norme autrichienne (Essais du béton) I à IV.** (Entwurf der Enorm B 3302). *Esterr. Baustz.*, Autr. (28 juin 1952), n° 26, p. 6-9, 1 fig.; (5 juil. 1952), n° 27, p. 5-8, 5 fig.; (12 juil. 1952), n° 28, p. 5-7, 2 fig.; (19 juil. 1952), n° 29, p. 5-8, 5 fig. — E. 21169, 21206, 21350, 21431. CDU 691.328 : 539.37 : 620.1.

80-59. **Essais à basses températures sur des poutres en béton armé et en béton précontraint.** HUYCHE (G.); *Précontrainte*, Belg. (jan.-juin 1952), n° 1, p. 31-40, 29 fig. — Descrip-

tion d'essai de charge de poutres en béton armé et en béton précontraint soumises à des températures de — 40^o C. Conclusions rassurantes. E. 21270. CDU 691.328 : 690.192.422.

81-59. **Influence du retrait et du fluage dans les poutres continues.** II (*fin*) (Der Einfluss des Schwindens und Kriechens bei Verbundträgern). WALTER (H.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (juin 1952), n° 6, p. 132-137, 11 fig. — E. 21137. CDU 691.328 : 539.37 : 690.237.22.

82-59. **Finitions en béton** (Concrete finishes). WILSON (J. G.); tiré à part de : J. R. I. B. A., G.-B. (nov. 1951). vol. 59, n° 1, 6 p., 9 fig. — Il existe trois façons d'obtenir une surface finie avec agrégat apparent : par travail à l'outil de la surface du béton coulé sur place; par l'emploi d'un revêtement avec agrégats apparents; par l'emploi de dalles ou panneaux préfabriqués. Description de chacune de ces méthodes. Emploi de panneaux profilés. Discussion. E. 21029. CDU 693.558.

83-59. **Coffrages pour poutres de toiture et pour voûtes en béton armé** (Eine Fertigschalung für Stahlbeton-Plattenbalkendecken und Gewölbedecken). BRASCH (W.); *Planen Bauen*, All. (fév. 1952), n° 4, p. 77-81, 23 fig. — Description. Résultats et possibilités d'application. E. 21199. CDU 691.32 : 690.575 : 690.236.

84-59. **Fabrication du béton** (Making concrete). B. R. S. Dig. G.-B. (juil. 1952), n° 44, 5 p., 5 fig. — Principaux points à surveiller par celui qui prépare du béton : 1^o Choix et qualité des matériaux; 2^o Quantité de l'eau du mélange; 3^o Dosage fait avec soin du ciment et des agrégats fins et gros; 4^o Qualité d'exécution dans le mélangeage et la mise en place; 5^o Traitement du béton après la mise en place. E. 21407. CDU 691.328.

85-59. **Le béton centrifugé, sa fabrication et son emploi** (Schleuderbeton, seine Herstellung und Verwendung). MEYER (A.); *Betonst. Ztg.*, All. (juil. 1952), n° 7, p. 257-259, 10 fig. (résumés anglais et français). — E. 21320. CDU 691.328.

86-59. **Le béton « ocraté » résistant aux acides** (Der säurefeste « Ocrat-Beton »). WIRTEKINDT (W.); *Zement-Kalk-Gips*, All. (juil. 1952), n° 7, p. 203-205, 5 fig. (résumés anglais et français). — Par l'action du fluorure gazeux de silicium SiF₄, le béton est revêtu d'une couche pratiquement inaltérable de fluorure de chaux CaF₂, contenant des particules d'hydrates siliceux et alumineux. Le béton ainsi traité résiste même à l'acide chlorhydrique pur. Le traitement accroît aussi la résistance mécanique et la résistance à l'usure. E. 21403. CDU 691.328.2 : 620.193 : 699.8.

87-59. **Bétonnage en temps de gelée** (Betonieren bei Frost). PETERMANN (A.); *Bauplan. Bautech.*, All. (juil. 1952), n° 10, p. 298-299, 2 fig. — E. 21555. CDU 691.32 : 620.192.422.

88-59. **La température critique** (Die kritische Temperatur). EICHLER (F.); *Bauplan. Bautech.*, All. (juil. 1952), n° 10, p. 301-302. — Choix du ciment. Teneur du ciment. Teneur en eau. Le mélange. Protection locale. Moyens de défense contre la gelée. E. 21555. CDU 691.328 : 612.5.

89-59. **Détermination des températures des éléments pour une température donnée du béton et du mortier** (Ermittlung der Temperaturen der Bestandteile für eine gegebene Temperatur des Betons und Mörtels). BESZENNY (P. Ch.); *Bauplan. Bautech.*, All. (juil. 1952), n° 10, p. 293-294, 2 fig. — L'exécution des travaux de construction en hiver rend nécessaire le chauffage des éléments du mortier et du béton. Formules et tableaux permettant de déterminer : 1^o La température du mélange de mortier et de béton d'après les températures données des éléments; 2^o Les valeurs des températures des éléments qui assurent l'obtention des températures demandées du mélange. E. 21555. CDU 691.328 : 612.15.

90-59. L'accélération du durcissement du béton par la chaleur. Diagramme des épreuves de compression à la fin du chauffage. Avantages et limites d'application de la méthode (L'accelerazione mediante il calore dell' indurimento del calcestruzzo. Vantaggi e limiti di applicazione del metodo). *Corr. Costr.*, Ital. (10 juil. 1952), n° 28, p. 6, 2 fig. — E. 21540. CDU 691.32 : 697.

91-59. Produits colorants pour bétons et mortiers. LEVY (J.-P.); *Bâtir*, Fr. (juin 1952), n° 22, p. 3-8, 10 fig., 1 réf. bibl. — Examen de la nature, des qualités et des conditions d'emploi des produits colorants utilisables pour teinter dans la masse ou pour confectionner les ciments et mortiers colorés. Propriétés des pigments, choix; emploi. E. 21247. CDU 691.328 : 691.57.

92-59. Compactage du béton sur les tables de vibration (Compacting concrete on vibrating tables). *Concr. Build. Concr. Prod.*, G.-B. (juil. 1952), vol. 27, n° 7, p. 145, 147, 149, 151, 1 fig. E. 21135. CDU 693.556.4.

93-59. Chauffage électrique du béton dans la construction d'hiver (Electric heating of concrete in winter construction). ITAKURA (C.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (mai 1952), vol. 23, n° 9, p. 753-767, 12 fig. — Méthode électrique du chauffage du béton pendant les froids, utilisée dans le Japon du Nord. Le procédé emploie un réseau d'électrodes et s'applique au béton ordinaire ou au béton armé. Dépenses en pourcentage des frais de construction. E. 21198. CDU 691.27 : 691.328 : 657.47.

94-59. Chauffage électrique du béton sur le chantier d'un gratte-ciel (Elektrische Erwärmung des Betons auf der Baustelle eines Hochhauses). KOMISSAROW (L. A.); *Bauplan. Bautech.*, All. (juil. 1952), n° 10, p. 302-304, 6 fig. — E. 21555. CDU 691.328 : 697.27 : 720.922.2.

95-59. Les produits d'addition au béton (Betonzusatzmittel). WALZ; *Strassen-Tiefbau*, All. (juil. 1952), n° 7, p. 197-198. — Produits épaississeurs; produits de protection contre la gelée; accélérateurs de durcissement; produits producteurs de pores d'air, etc. E. 21663. CDU 691.328.

96-59. La construction en béton de terre. Éd. : Bur. centr. Études Équip. Outre-Mer. Serv. Habitat, Paris (1952), 1 vol., 66 p., 24 fig. — Voir analyse détaillée B-721 au chap. III « Bibliographie ». — E. 21641. CDU 691.328 : 691.41 (02).

97-59. Les bétons de sciure de bois. LEVY (J. P.); *Bâtir*, Fr. (juil. 1952), n° 23, p. 3-5, 8 fig. — Particularités de la sciure de bois utilisée comme agrégat du béton. Nécessité d'une préparation préalable en vue d'éviter l'absorption d'eau et la production de produits nocifs pour le béton. Dosages convenables. Propriétés et emplois des bétons de sciure. E. 21539. CDU 691.32 : 691.11.

98-59. Le béton réfractaire. *Usine nouv.*, Fr. (31 juil. 1952), n° 31, p. 30 (Tiré de « Chemical Age », G.-B., 10 mai 1952). — Possibilités et usages du béton réfractaire. Nécessité d'employer un ciment alumineux. Composition optimum des agrégats. E. 21548. CDU 691.328 : 691.42.

99-59. Résistance au gel du béton de scories (Die Widerstandsfähigkeit von Schlackenbeton-Steinen gegen Frost). *Planen Bauen*, All. (fév. 1952), n° 4, p. 76. E. 21455. CDU 691.322.55 : 691.328.

100-59. Béton d'écume (Foamed concrete). *Commonwealth Exper. Build. Stn* (Sci. Build.), Austral. (juin 1952), n° SB 24, 4 p., 9 fig. — E. 21541. CDU 691.328.

101-59. Théorie et pratique de l'incorporation voulue de l'air dans le béton de ciment Portland (Teoria y practica de la incorporación intencional de aire al hormigon de cemento

Portland). *Hormigon Elastico*, Argent. (mai 1952), n° 5, p. 30-32, 2 fig. — E. 21626. CDU 691.328 : 691.542.

102-59. Béton résistant à la chaleur (Heat-resisting concrete). WILLIAMS (A. E.); *Indian Concr. J.*, Inde (15 juin 1952), vol. 26, n° 6, p. 155-159, 9 fig. — E. 21620. CDU 691.328 : 691.42.

103-59. Agenda du béton 1952 (Beton-Kalender 1952). Éd. : Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin, All.; Lange, Maxwell and Springer Ltd, Londres, G.-B., 2 vol., t. 1, VIII + 736 p., nombr. fig., réf. bibl.; t. 2, VIII + 484 p., nombr. fig., réf. bibl. — Voir analyses détaillées B-727-728 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 60. — E. 21092, 21093. CDU 62 : 690 : 693.5 (02).

104-59. Durabilité (Durability). PORTER (C. B.), GILMORE (R. W.), JACKSON (F. H.), TUTHILL (L. H.), STEELE (B. W.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (mai 1952), vol. 23, n° 9, p. 725-750, 11 fig., 9 réf. bibl. — Groupe de mémoires présentés à la 48^e Convention de l'A. C. I., 1952. Rapports sur les conditions de la durabilité des constructions en béton. Examen des constructions d'anciennetés variables. Discussions sur les facteurs déterminant la durabilité. Nécessité du contrôle des modifications de volume. Emploi du béton imperméable. Études des phases du mélange du béton. E. 21198. CDU 691.328.

Deb m Maçonnerie.

105-59. Les conditions de la construction de la maçonnerie en hiver (Die Bedingungen des Mauerwerkbaues im Winter). SCHISCHKIN (A. A.); *Bauplan. Bautech.*, All. (juil. 1952), n° 10, p. 295-297, 9 fig. — E. 21555. CDU 693.1 : 620.192.422.

106-59. Comment obtenir la résistance nécessaire de la maçonnerie dans les travaux effectués en hiver (Erzielung der erforderlichen Mauerfestigkeit bei Winterarbeiten). *Bauplan. Bautech.*, All. (juil. 1952), n° 10, p. 299-301, 6 fig. — E. 21555. CDU 693.1 : 620.192.422.

Deb mo Enduits Revêtements.

107-59. Plaques et blocs de parement préfabriqués (Precast facing slabs and blocks). *Concr. Build. Concr. Prod.*, G.-B. (juil. 1952), vol. 27, n° 7, p. 141-142, 3 fig. — E. 21135. CDU 693.6 : 693.54.

108-59. Carrelages. Mosaïques. Granito. Revêtements céramiques. *Cah. Centre sci. tech. Bâtim.*, Fr. (1952), n° 15 (cah. 145), 13 p., 1 fig. — Texte d'un cahier des prescriptions techniques générales applicables aux travaux de : carrelages, mosaïques, granito, revêtements céramiques dont les quatre titres sont relatifs à des généralités, aux caractéristiques de dimensions et de qualités, au mode d'exécution des travaux et à la mise en œuvre des matériaux, au contrôle, aux essais et à la réception. E. 21271. CDU 690.25 : 729.7 : 690.013.

109-59. Enduits sur les murs extérieurs (Rendering outside walls). *Minist. Works*, G.-B. (1952), Advis. Leaflet, n° 27, 4 p., 1 fig. — Choix de l'enduit. Mélange à utiliser. Comment l'appliquer. Résistance aux intempéries. La couche de fond. La couche intermédiaire. La couche de finition. E. 21400. CDU 693.625 : 699.83.

110-59. Revêtements de sols nouveaux à base de matières plastiques. COINTE (M.); *Cah. Centre sci. tech. Bâtim.*, Fr. (1952), n° 15 (cah. 144), 32 p., 31 fig. — Introduction sur le choix d'un revêtement de sol; la terminologie; les constituants; la mise en œuvre; les caractéristiques communes aux revêtements plastiques; les critères de choix. Les carrelages

thermo-plastiques. Les résines vinyliques sans joint. Le ciment latex et ciment vinylique. Les résines vinyliques en feuilles. E. 21271. CDU 690.25 : 678.7.

Deb me Béton armé.

111-59. L'influence de la plasticité sur les moments fléchissants et les déformations dans les ouvrages hyperstatiques en béton armé. GUERRIN (A.); *Tech. Trav.*, Fr. (juil.-août 1952), n° 7-8, p. 241-256, 20 fig. — Étude de l'influence des déformations plastiques du béton en fonction du temps sur les moments fléchissants des poutres hyperstatiques en béton armé. Application à une poutre encastree, à une poutre continue, à des arcs. E. 21289. CDU 691.328 : 539.37.

112-59. Le béton armé économique. Considérations sur la détermination des solutions les plus économiques des projets de constructions en béton armé. REIMBERT (M.); *Archit. Auj.*, Fr. (juin 1952), n° 41, p. XVI-XVII-XIX, 7 fig. — Trois rapports entre les prix du béton, de l'acier et du coffrage. Examen des variations du prix d'une poutre de béton armé dont le pourcentage d'acier varie de 100 kg à 515 kg par m³ puis d'une travée complète d'un plancher étudiée avec deux pourcentages différents. Comparaison de l'étude précédente avec une travée dont la poutraison est distribuée rationnellement en fonction des prix relatifs des matériaux. Calcul des mêmes travées avec des surcharges différentes. On fait ressortir l'erreur commise en évaluant le coût d'un projet d'après le prix de revient du m³ de béton armé mis en œuvre. E. 21249. CDU 693.55 : 690.031.

113-59. Le nouvel équipement du Laboratoire de béton armé de l'Université de Gand pour essais statiques et dynamiques d'éléments de construction de grande dimension (The new equipment of the Laboratory for Reinforced Concrete at the University of Ghent for static and dynamic tests on construction members of large size). RIESSAUW (F. G.); *Précontrainte*, Belg. (jan.-juin 1952), n° 1, p. 41-50, 14 fig. (Textes en français et en anglais). — E. 21270. CDU 727.5 : 693.55.

114-59. Introduction au calcul à la rupture (Introduction to ultimate load design). CORNING (L. H.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (juin 1952), vol. 23, n° 10, p. 797-799. — Revue historique du calcul à la rupture. Théories précédentes aux U. S. A. et dans les autres pays. Examen des coefficients de sécurité. E. 21404. CDU 691.328 : 539.37.

115-59. Pourquoi calculer d'après les théories de la résistance à la rupture ? (Why design by the ultimate strength theories?). ANDERSON (B. G.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (juin 1952), vol. 23, n° 10, p. 801-808. — Discussion des arguments pour le calcul à la rupture : mettre le calcul des éléments du béton sur une base rationnelle commune; uniformiser le facteur de sécurité pour toutes les formes; rationaliser l'emploi des facteurs de charge pour pouvoir attribuer des facteurs de sécurité aux divers types de charge et à différents types de structures; éviter l'emploi peu économique des armatures en compression; simplifier les procédés de calcul; mieux prévoir les performances des éléments sujets à des charges impulsives de longue durée et déterminer la capacité portante des éléments en béton précontraint. E. 21404. CDU 691.328 : 539.37.

116-59. Conceptions fondamentales dans le calcul à la rupture des éléments en béton armé (Fundamental concepts in ultimate load design of reinforced concrete members). HOGNESTAD (E.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (juin 1952), vol. 23, n° 10, p. 809-830, 6 fig. — Les travaux des premiers calculateurs du béton armé étaient surtout orientés vers la détermination préalable de la résistance des éléments. On devrait s'efforcer surtout de diminuer la pro-

habilité des modes de rupture particulièrement indésirable tels que ceux qui sont de nature fragile, plus que les modes de rupture liés à la ductilité et qui donnent une prémonition d'accident. V. P. JENSEN : Discussion. E. 21404.

CDU 691.328 : 539.37.

117-59. Revue des recherches sur la résistance à la rupture des éléments en béton armé (Review of research on ultimate strength of reinforced concrete members). SISS (C. P.), ERNST (G. C.); J. A. C. I., U. S. A. (juin 1952), vol. 23, n° 10, p. 833-864, 3 fig., 113 réf. bibl. — Brève revue des travaux les plus importants dans ce domaine limité aux éléments en béton armé statiquement déterminés. Pour la discussion les éléments sont divisés en cinq catégories suivant le type principal de contrainte : flexion pure, compression axiale, compression axiale et flexion combinées, flexion et cisaillement combinés, flexion, cisaillement et compression axiale combinés. A. L. PARME : Discussion. E. 21404.

CDU 691.328 : 539.37.

118-59. Calcul pratique à la rupture (Practical design at ultimate loads). REESE (R. C.); J. A. C. I., U. S. A. (juin 1952), vol. 23, n° 10, p. 865-880, 1 fig., 4 réf. bibl. — Calcul des dalles et des poutres et des colonnes avec ou sans flexion. Comparaisons relatives à l'espace occupé, au fléchissement des éléments avant le temps et au coût de la construction. Ph. M. FERGUSON : Discussion. — E. 21404.

CDU 691.328 : 539.37.

119-59. Coefficient de sécurité dans le calcul à la rupture du béton armé (Load factors in ultimate design of reinforced concrete). LIN (T. Y.); J. A. C. I., U. S. A. (juin 1952), vol. 23, n° 10, p. 881-900, 8 fig. — Insuffisance de la méthode actuelle et bases pour le choix des coefficients de sécurité. R. ARCHIBALD : Discussion. E. 21404.

CDU 691.328 : 539.37.

120-59. Considérations critiques sur l'importance des ancrages dans les constructions en béton armé (Kritische Betrachtungen zur Bedeutung des Hakens im Stahlbetonbau). VÖLTER (O.); Beton-Stahlbetonbau, All. (juil. 1952), n° 7, p. 163-169, 10 fig., 23 réf. bibl. — E. 21266.

CDU 691.328.2.

121-59. Calcul nomographique de la section rectangulaire de béton armé (Calculo nomografico de la section rectangular de hormigon armado). URCELAY (J. M.); Inform. Constr. (Inst. tec. Constr. Cimento). Esp. (juin-juil. 1952), n° 42, p. 452.5/1-452.5/4, 8 fig. — On admet que les contraintes varient selon une loi linéaire, on néglige les tractions dans le béton et on suppose que la section de chaque armature est concentrée à son centre de gravité. E. 21293.

CDU 693.55 : 518.3.

122-59. Théories plastiques pour le calcul et le dimensionnement des éléments de béton (Teorias plasticas para el calculo y dimensionamiento de elementos de hormigon). GRANHOLM (H.); Inform. Constr. (Inst. tec. Constr. Cimento). Esp. (juin-juil. 1952), n° 42, p. 452.4/1-452.4/5, 17 fig. — Méthode connue sous le nom de « méthode sans n » dans les formules de laquelle n'apparaît pas le coefficient d'équivalence. Compte rendu d'essais qui ont confirmé que les résultats se rapprochent beaucoup de la théorie. Exemples montrant la simplicité du procédé. E. 21293.

CDU 693.55 : 518.5.

123-59. Tables pour le calcul du béton armé, flexion simple normale, section rectangulaire, armature double, calculs de vérification (Tablas para calculo de concreto armado. Flexao simples normal. Seccao retangular. Armadura dupla. Estadío II calculo de verificacao). Assoc. Brasil. Ciment. Portland, Brésil (1951), n° 64, 10 p., 1 fig. — E. 21696.

CDU 693.55 : 518.3 (083.5).

124-59. Étude statique et dynamique d'aciers ronds pour béton armé, tordus à différents pas (Ispitivanje osobina celika u armiranom betonu sa prirodnim i vestacki povecanom granicom

razvlacenja i u vatri). BOZIC (B.); Savezni Inst. Gradevinarstvo, Yougosl. (déc. 1951), n° 11, 16 p., 29 fig. (résumés anglais, français et allemand). — Étude statique et dynamique de barres d'armature rondes tordues à différents pas. Influence de l'action d'une haute température sur la résistance de poutres en béton armé avec de l'acier Tor, de l'acier à haute limite élastique et de l'acier Isteg; ce dernier aurait donné le plus faible résultat. E. 20863.

CDU 691.328 : 691.71.

Deb ni Béton précontraint.

125-59. Poutres pour la couverture de l'usine André Blondel. III. (fin). VALLETTE (R.); Tech. mod. Constr., Fr. (juil. 1952), t. 7, n° 7, p. 203-208, 13 fig. — Description des poutres en béton précontraint de la couverture de l'usine André Blondel, sur le canal de Donzère-Mondragon. Étude technique des poutres en forme de U à ailes horizontales. Efforts secondaires dus à la forme du profil. Contrôle de l'exécution. Essais. Conséquences des essais pour les règles de sécurité. Remarques sur un essai de dalle mince. E. 21451.

CDU 690.24 : 693.57.

126-59. Viaduc en béton précontraint à Malden (Hollande). BAAR (G.), RIESSAUW (F.); Précontrainte, Belg. (jan.-juin 1952), n° 1, p. 8-13, 8 fig. (résumé anglais). — Ce viaduc comporte trois travées de 8,2, 10,7 et 8,2 m de portée; il est constitué par une poutre droite en béton armé. Il est affecté au passage d'une route au-dessus d'une voie ferrée. Éléments principaux du calcul : sollicitations d'après le cahier des charges hollandais, tensions de sécurité, calcul des moments fléchissants et des tensions résultantes en divers points. Exécution : emploi de mandrins en caoutchouc, placement des câbles, précontrainte, vibration du béton. Résistances obtenues. E. 21270.

CDU 693.57 : 624.27.

127-59. Tendance dans la construction en béton précontraint aux U. S. A., I. (Trends in linear American prestressed concrete construction). ZOLLMAN (Ch. C.); Précontrainte, Belg. (jan.-juin 1952), n° 1, p. 14-20, 15 fig. (résumés français et anglais). — Diverses solutions proposées en vue de réduire les frais de chantier, particulièrement élevés aux États-Unis. E. 21270.

CDU 693.57 : 690.031.

128-59. Ponts dans la « New-Forest », Angleterre (Bridges in the New Forest). Concr. Quarterly, G.-B. (jan.-mars 1952), n° 13, p. 10-13, 6 fig. — Description de cinq ponts en béton précontraint, de portées diverses. E. 21605.

CDU 624.27 : 693.57.

129-59. Calcul et étude de quadrillages de poutres en béton précontraint I. II. III. (The design and analysis of openwork prestressed concrete beam grillages). LAZARIDES (T. O.); Civ. Engng., G.-B. (juin 1952), vol. 47, n° 552, p. 471-473, 9 fig., 1 réf. bibl.; (juil. 1952), vol. 47, n° 553, p. 582-584, 6 fig.; (août 1952), vol. 47, n° 554, p. 659-661, 4 fig. — E. 20922.

E. 21326. E. 21723.

CDU 690.237.22 : 693.57.

130-59. Position économique du béton précontraint par rapport à d'autres modes de construction : aluminium, béton armé, acier et charpente en bois (Relative economics of pre-stressed concrete compared with other forms of construction. Aluminium; reinforced concrete; steel; and timber). RATTER (J.), PIKE (D. V.), SNOW (F. S.), SMITH (S. H.), REECE (Ph. O.), CUEREL (J.); Proc. Instn. civ. Engrs., G.-B. (juil. 1952), vol. 1, n° 4, p. 390-422, 11 fig., 3 fig. h. t. — E. 21269.

CDU 693.57 : 690.031.

131-59. Amélioration de la qualité dans le béton précontraint (Qualitätssteigerung im Spannbetonbau). MELOSCH (P.); Bauplan. Bautech., All. (avr. 1952), n° 7, p. 157-162, 9 fig., 15 réf. bibl. — Communication du groupe technique du Bâtiment du Bureau Allemand pour les essais du matériel et des produits. E. 21476.

CDU 691.328.2.

132-59. Pont en arc à deux articulations en béton précontraint sur l'Eider à Kiel-Schulensee (Vorgespannte Zweigelenkbogenscheibenbrücke über die Eider in Kiel-Schulensee). VOCT (H.), TREBES (H.); Beton-Stahlbetonbau, All. (juin 1952), n° 6, p. 129-132, 10 fig. — Un arc de 24 m d'ouverture, largeur 18,5 m. E. 21137.

CDU 624.6 : 693.57.

133-59. Construction d'un escalier hélicoïdal préfabriqué en ciment armé précontraint (Costruzione di una scala elicoidale prefabbricata in cemento armato precompresso). RINALDI (G.). Tiré à part de : Ingr. Arch. Constr., Ital. (mai 1952), n° 5, 4 p., 12 fig. — E. 21152.

CDU 690.26 : 693.57.

134-59. Pont en ciment armé précontraint de 36 m d'ouverture à Castenaso sur l'Idice (Ponte sull'Idice a Castenaso in cemento armato precompresso). RINALDI (G.); Strade, Ital. (juin 1952), n° 6, p. 188-190, 8 fig., 1 réf. bibl. — E. 21427.

CDU 624.27 : 693.57.

135-59. Dimensionnement, construction et comportement à la compression, à la fissuration et à la rupture d'une poutre isostatique en ciment armé précontraint à double articulation (Proportzionamento, costruzione e comportamento alla compressione, alla fessurazione ed alla rottura di una trave isostatica in cemento armato precompresso a doppio ginocchio). RINALDI (G.); G. Genio civ., Ital. (juin 1952), n° 6, p. 316-333, 25 fig., 1 pl. h. t. — E. 21730.

CDU 690.237.22 : 691.328.2.

136-59. Essai de rupture d'une poutre en béton précontraint à double articulation (Prime note sulla sperimentazione di una trave a doppio ginocchio in C. A. P.). RINALDI (G.), LANCETTI (L.); Industr. ital. Cemento, Ital. (juin 1952), n° 6, p. 145-146, 2 fig. — E. 21325.

CDU 690.237.22 : 693.57 : 620.1.

137-59. Récents développements du ciment armé précontraint dans le domaine des études et des applications (Recenti sviluppi del cemento armato precompresso nel campo degli studi e delle applicazioni). LEVI (F.); G. Genio civ., Ital. (juin 1952), n° 6, p. 307-315. — Conférence au Polytechnique de Turin le 28 avr. 1952. E. 21730.

CDU 691.328.2 : 693.57.

138-59. Pont à une seule travée en arc en béton précontraint à Shrewsbury (Angleterre) (Prestressed concrete span Castle bridge, Shrewsbury, England). Constr. Rev., Austral. (juin 1952), vol. 25, n° 2, p. 17-18, 1 fig. — Tiré de « Nation Builder ». La distance entre les axes des deux piles qui supportent la travée, est de 45,7 m. E. 21538.

CDU 624.6 : 693.57.

139-59. Étude expérimentale des poutres en béton précontraint. II. (fin) (Experimenteel onderzoek van voorgespannen betonbalken). HAAS (A. M.); Ingenieur, Pays-Bas (15 fév. 1952), n° 7, p. Bt.13-Bt.16, 6 fig., 5 réf. bibl. — Essais de déformation et de rupture. Comparaison des formules de Zwitserse, de Ros-Schüle-Walker, de l'Hermite et de Rengers pour la détermination du rapport existant entre le module d'élasticité et la résistance à la compression. Exemples de poutres destinées à la construction de hangars d'aviation à Schiphol. E. 19265.

CDU 690.237.22 : 691.328.2.

140-59. Essais sous charge de poutres en béton précontraint pour un viaduc à Rotterdam (Proefbelasting op spanbetonbalken van het viaduct Rozelaan te Rotterdam). Ingenieur, Pays-Bas (25 juil. 1952), n° 30, p. B.45-B.52, 17 fig. — E. 21547.

CDU 624.27 : 693.57 : 620.1.

141-59. Revêtements routiers en béton précontraint. Expérience de la « Cement and Concrete Association » (Prestressed concrete pavements. Experiments by the Cement and Concrete Association). ANDREWS (W. P.); Indian Concr. J., Inde (15 juin 1952), vol. 26, n° 6, p. 160-162, 8 fig. (Tiré de « Roads Road Constr. »). — E. 21620.

CDU 625.84 : 693.57.

142-59. Expérience récente sur la construction composite préfabriquée et « in-situ » portant en particulier sur la précontrainte (Some recent experience in composite pre-cast and in-situ concrete construction, with particular reference to pre-stressing). SAMUELY (F. J.); *Proc. Instn. civ. Engrs* (Engng Div.), G.-B. (août 1952), vol. 1, n° 2, p. 222-279, 36 fig., 25 fig. h. t., 20 réf. bibl. — Résultats d'essais de rupture. Calcul de la contrainte de cisaillement. E. 21536. CDU 691.328.2 : 693.057.1.

143-59. Le béton précontraint I. II. (Hormigon precomprimido). BILLIG (K.); *Hormigon Elastico*, Argent. (mai 1952), n° 5, p. 5-16, 18 fig.; (juin 1952), n° 6, p. 3-14, 13 fig., 2 réf. bibl. — Étude générale. Historique. Pertes dues à la précontrainte. Qualités de l'acier et du béton. Adhérence et ancrage. Emploi des cordes de piano pour la précontrainte. Armatures avec chape de protection. Réservoirs, tunnels et tuyauteries. Jonctions. Constructions mixtes. Précontrainte partielle. Ciment expansif. Matériel nécessaire. Établissement du projet. Tension préalable par étape. Conclusion et discussion. E. 21626. CDU 691.328.2 : 691.54.

144-59. Essai de laboratoire sur une dalle en béton précontrainte dans deux directions (Laboratory test on two-way slab in prestressed concrete). ROGERS (G. L.); *Précontrainte*, Belg. (jan.-juin 1952), n° 1, p. 3-6, 7 fig. — Le calcul de la charge de fissuration, effectué d'après la théorie élastique comme pour une poutre donne une valeur très approchée de celle que l'on constate expérimentalement. E. 21270. CDU 691.328.2 : 691-413 : 620.1.

145-59. Notions fondamentales sur la précontrainte des poutres et des portiques (Grundsätzliche zum Vorsepannen von Balken und Rahmen). FRANZ (G.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (juin 1952), n° 6, p. 137-142, 23 fig. — E. 21137. CDU 690.237.22 : 693. 9 : 691.328.2.

Dec CHARPENTES MENUISERIE. SERRURERIE

Dec j Travail du bois. Charpente. Menuiserie.

146-59. Essais sur des constructions de poutres tendant à économiser le bois (Versuche mit holzsparenden Trägerkonstruktionen). HÜTTER (A.); *Bauplan. Bautech.*, All. (avr. 1952), n° 7, p. 166-168, 10 fig. — E. 21476. CDU 694.1 : 690.237.22 : 690.031.

Dec l Travail des métaux. Charpente. Soudure. Menuiserie.

147-59. Technique du soudage pour les ingénieurs-constructeurs (Die Schweisstechnik des Bauingenieurs). SÄHLING (B.), LATZIN (K.); Éd.: Friedr. Vieweg und Sohn, Braunschweig, All. (1952), 2^e édit., 1 vol., VIII + 278 p., 356 fig., 1 fig. h. t., 184 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-730 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 60. — E. 21094. CDU 621.791 : 693.97 (02).

148-59. Travaux d'hiver dans la construction métallique (Winterarbeiten im Stahlbau). THIEL (E.); *Bauplan. Bautech.*, All. (juil. 1952), p. 307. — E. 21555. CDU 693.97 : 620.192.422.

149-59. La menuiserie métallique en Belgique. GRONDEL (J.); *Ossature métall.*, Belg. (juil.-août 1952), n° 7-8, p. 366-373, 9 fig. — Avantages de la menuiserie métallique par rapport à la menuiserie en bois. Union technique « U. T. M. M. »; son programme : normalisation, détail de construction, quincaillerie, rapports avec les

autres corps de métier, protection contre l'oxydation, normalisation des dimensions des baies. E. 21211. CDU 690.28 : 672 : 389.6.

Ded TRAVAUX D'ACHÈVEMENT

Ded j Couverture.

150-59. Bois et béton en matière de couverture. BERNARDEAU (R.); *Charp. Bois.*, Fr. (juil. 1952), n° 7, p. 5-8, 2 fig. — Résultat d'une enquête lancée en France. Comparaison technique et économique des charpentes en béton, et des charpentes en bois. Inconvénients des toitures-terrasses. E. 21631. CDU 590.241 : 694.1 : 693.95.

Ded ma Travaux de peinture.

151-59. Lessives et lessivages (des peintures). *Trav. Peint.*, Fr. (juil. 1952), vol. 7, n° 7, p. 215, 1 réf. bibl. — Lessive en conservation et lessivage complet. Étude des lessives modernes et de leur emploi. E. 21253. CDU 698.1 : 690.591.

Def PRÉFABRICATION

152-59. Architecture préfabriquée. ABRAHAM (P.). Éd.: Dunod, Paris (1952), 2^e édit., 1 vol., xv + 140 p., 69 fig., 13 fig. h. t. — Voir analyse détaillée B-713 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 58. — E. 21197. CDU 72 : 693.057.1 (02).

153-59. Nouveaux procédés français de préfabrication (Neue französische Verfahren der Fertigbauweise). *Allg. Bau-Ztg.*, Autr. (7 mai 1952), n° 297, p. 4-5. — E. 21408. CDU 693.057.1.

Dib PLOMBERIE SANITAIRE

154-59. Installations intérieures d'eau. *Equip. tech.*, Fr. (mars 1952), n° 51, p. 23, 25, 1 fig. — Peut-on, pour des raisons d'économie ou d'esthétique, réduire le diamètre des tuyauteries ? E. 20559. CDU 628.15 : 696.122.

155-59. Normalisation de la robinetterie utilisée dans le bâtiment et des appareils sanitaires. MORISSEAU (J.); *Tuyaux en matière plastique utilisés dans le bâtiment*. SCHICK (J.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (juil.-août 1952), n° 55-56 (Équip. tech., n° 27), p. 785-796, 10 fig. (résumés anglais). — J. MORISSEAU Méthodes employées dans les études pour la normalisation de la robinetterie de bâtiment. Normes d'appareils sanitaires en céramique. Appel à la discipline volontaire de tous pour l'application des normes. — J. SCHICK : Précision sur les matières plastiques et leurs propriétés. Étude des tubes en matière plastique souples, semi-rigides ou rigides; leurs cas d'utilisation. Façonnage de ces tuyaux, de leur soudure, de leur assemblage par brides ou par manchon, de leur cintrage. Discussion. E. 21724. CDU 683.5 : 389.6 : 621.6 : 678.7.

Dic CLIMATISATION

156-59. Guide 1952 du chauffage, de la ventilation, du conditionnement d'air (Heating, ventilating, air conditioning guide 1952). Éd.: Amer. Soc. Heat. Ventil. Engrs, New York, U. S. A., vol. 30, xxiv + 1496 p., nombr. fig., 2 pl. h. t., nombr. réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-724 au chap. III « Bibliographie ». E. 21125. CDU 536 : 697 (02).

157-59. Évolution des recherches et des

techniques en Belgique depuis 1940. MARCO (H.); *Etat de la recherche et des tendances de la technique aux Pays-Bas*. VAN DER HELD (E. F. M.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (juil.-août 1952), n° 55-56 (Équip. tech., XXVI), p. 747-768, 14 fig. (résumés anglais). — H. MARCO : Travaux de l'Association Technique de l'Industrie du Chauffage, de la Ventilation et des Branches Connexes : élaboration d'un Cahier des charges national, de normes relatives au chauffage central, à la ventilation et au conditionnement d'air, méthode d'essai pour la détermination de l'émission calorifique des radiateurs, norme des conditions acoustiques, recherches sur les déperditions par parois et chasses, perfectionnement de chaudières, évolution de la technique du chauffage, de la ventilation et du conditionnement d'air. — E. F. M. VAN DER HELD : Recherches faites aux Pays-Bas en ce qui concerne le débit d'air des fenêtres. Études économiques sur l'isolation optimum des parois en régime continu et en régime intermittent, détails sur le procédé de calcul utilisé en Hollande et sur son application au calcul des surpuissances en chauffage discontinu avec un exemple de calcul et des indications sur le rôle des structures. E. 21724. CDU 697.

158-59. Théorie et étude du chauffage et de la ventilation. III. (Heating and ventilation theory design). PARRY (N. F.); *Heat. Ventil. Engr.*, G.-B. (juin 1952), vol. 25, n° 300, p. 564-569, 4 fig. — En se basant sur la consommation de combustible et le prix de revient du fonctionnement des installations de chauffage, on compare du point de vue économique les différentes sortes de combustibles liquides ou solides, et on mentionne les systèmes qui utilisent la chaleur de récupération. Chauffage électrique et chauffage combiné. E. 21028. CDU 697 : 662.6/7 : 657.47.

159-59. Problèmes de ventilation et de chauffage dans les usines de l'énergie atomique (Ventilation and heating problems in atomic energy establishments). WILSON (W. L.), PRIZEMAN (W.); *Heat. Ventil. Engr.*, G.-B. (juil. 1952), vol. 26, n° 301, p. 3-14, 11 fig. — E. 21405. CDU 697 : 725.4.

160-59. Installations de chauffage et d'aération du théâtre Schiller à Berlin (Die Heizungs- und Lüftungsanlagen im Berliner Schiller-Theater). KRUGER (W.); *Gesundheitsingenieur*, All. (14 juil. 1952), n° 13, p. 217-223, 13 fig. — E. 21428. CDU 697 : 725.821.

161-59. Champs thermiques et flux calorifiques. Méthodes graphiques et apparentées. VÉRON (M.); *Soc. fr. Constr. Babcock Wilcox*, Fr. (1950-1951), Bull. tech. n° 23-24, 281 p., 101 fig., 10 pl. h. t. — Propriétés fondamentales des champs thermiques et des écoulements calorifiques. Méthodes graphiques du régime permanent. Méthodes graphiques du régime variable. Étude analogique. Étude grapho-analytique du régime variable. Exposé des méthodes graphiques complémentaires. E. 21709. CDU 536.2 : 697 : 518.3.

162-59. Abaque universel de combustion. VÉRON (M.), DUMÉZ (A.); *Soc. fr. Constr. Babcock Wilcox*, Fr. (1952), 14 p., 2 fig. — Abaque universel de combustion à juxtaposition de diagrammes circulaires interprétant l'analyse des fumées en vue du réglage rationnel de l'air et l'établissement des bilans calorifiques. E. 21715. CDU 536 : 697 : 518.3.

163-59. Protection contre la chaleur et le froid dans l'industrie (Der Wärme- und Kälteschutz in der Industrie). CAMMERER (J. S.); Éd.: Springer, Berlin, All. (1951), 3^e édit., 1 vol., VII + 360 p., 251 fig., nombr. réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-731 au chap. III « Bibliographie ». de la D. T. 60 — E. 21348. CDU 697.13 : 699.86 : 725.4 (02).

164-59. Capacité d'emmagasinement de la chaleur par les parois et ses effets dans la pratique du bâtiment (Wärmespeichervermögen von Wänden und dessen Auswirkungen in der Baupraxis). RUCZKA (V.); *Gesundheitsinge-*

neur, All. (14 juil. 1952), n° 13, p. 223-225, 1 fig., 2 réf. bibl. — E. 21428. CDU 699.86.

Die 1 Chauffage.

165-59. Dispositifs d'amélioration de la combustion et du tirage des cheminées de campagne. GASCUEL (L.); *Chaud-Froid*, Fr. (juil. 1952), n° 67, p. 41-43, 3 fig. — Causes de mauvais fonctionnement des cheminées. Intensificateurs du tirage et de la combustion. E. 21319. CDU 697.8.

166-59. Considérations anciennes et nouvelles sur le chauffage par rayonnement (Alte und neue Betrachtungen über Strahlungsheizung) GINI (A.); *Installation*, Suisse (juin 1952), n° 3, p. 75-80, 1 fig., 6 réf. bibl. — E. 21210. CDU 697.353.

167-59. Installation de chauffage dans une vieille demeure transformée en musée (Old house to new museum). ZIGAS (A. L.); *Heat. Pip. Air Conditionn.*, U. S. A. (juil. 1952), vol. 24, n° 7, p. 82-85, 7 fig. — Chauffage par panneaux rayonnants au moyen de tubes dans le plancher. E. 21511. CDU 697.353 : 690.25.

168-59. Exposé général sur le chauffage des églises (Symposium on church heating). J. *Instn Heat. Ventil. Engrs*, G.-B. (juil. 1952), vol. 20, n° 203, p. 127-143, 2 fig., 2 réf. bibl. — E. 21142. CDU 697 : 726.5.

169-59. Le chauffage des ateliers (Emploi des aérothermes). *Equip. tech.*, Fr. (juil. 1952), n° 55, p. 3, 5, 7, 9, 18 fig. — Influence du chauffage sur le rendement industriel. Chauffage par aérothermes. Classification des appareils, emplacement, choix du fluide. E. 21475. CDU 697.5 : 725.4.

170-59. Résultats en service d'un réchauffeur d'eau par pompe à chaleur (Operating performance of a heat pump water heater). PENROD (E. B.); *Heat. Ventil.*, U. S. A. (juil. 1952), vol. 49, n° 7, p. 63-69, 11 fig. — Compte rendu de cinq essais de courte durée et d'un essai de longue durée (huit semaines). Énumération de huit principaux avantages de la pompe à chaleur pour l'eau chaude : réalisation d'une installation domestique entièrement électrique, facteur de charge élevé, dessiccation de l'air, séchage rapide de lessive, etc. E. 21372. CDU 697.3 : 621.577.

171-59. Possibilités de la pompe à chaleur au Canada (Possibilities of the heat pump in Canada). ALLCOT (E. A.), HOOPER (F. C.); *Engng J.*, Canada (juin 1952), vol. 35, n° 6, p. 610-614, 8 fig. — E. 21240. CDU 697.3 : 621.577.

172-59. Le chauffage urbain. *Monit. Trav. publ. Bâtim.*, Fr. (26 juil. 1952), n° 30, p. 21, 23. — Généralités. Installations françaises. Chauffage urbain à Paris : généralités, installation, raccordement des riverains, consommation de chaleur. E. 21430. CDU 697.34.

173-59. Les aspects économiques du chauffage urbain I. II. III. (The economics of district heating). *Industr. Heat. Engr.*, G.-B. (mai 1952), vol. 14, n° 79, p. 131-133, 143, 2 fig.; (juin 1952), vol. 14, n° 80, p. 172-173; (juil. 1952), vol. 14, n° 81, p. 199-201, 2 fig. — Facteurs économiques relatifs à ce problème. Les renseignements qu'ils contiennent sont extraits de la troisième édition du « Manuel de la National District Heating Association of America ». Chauffage urbain dans les pays autres que les États-Unis. Énumération et brèves descriptions des différents systèmes depuis l'origine. Chauffage par chaudière à basse pression distribuant de la vapeur. Utilisation de la vapeur d'échappement rejetée par certaines centrales à vapeur. Systèmes de chauffage à la vapeur à haute pression. Chauffage à l'eau chaude. E. 21026, 21027, 21329. CDU 697.34 : 657.47.

174-59. La production de vapeur aux U. S. A. Matériaux utilisés et tendances actuelles. MARTIN (R.); *Charbonn. Fr.*, Fr. (Cah. Serv. Econ. thermiques), Cah. n° 5, 28 p., 45 fig., 1 réf.

bibl. (Tiré de : « Chal. Industr. », sep.-oct.-nov. 1951.) — E. 21163. CDU 697.

Die n Ventilation. Séchage.

175-59. Séchage artificiel des bâtiments neufs. Résultats d'essais effectués à Rotterdam (Het kunstmatig drogen van nieuw gebouwde woningen. Resultaten van een proefdroging te Rotterdam). BASANT (A. H. M.), MULDER (L. L.); *Gesondheidsorganisatie T. N. O.*, n° 10; *Nuverheidsorganisatie T. N. O.*, Pays-Bas (mai 1952), n° 19, v + 9 p., 6 fig. h. t. — E. 21301. CDU 697.9 : 728.

Did ÉCLAIRAGE

176-59. Les ombres portées dans les bâtiments (Der Schattenwurf von Gebäuden). MARTI (H.); *Schweiz. Bauztg.*, Suisse (19 juil. 1952), n° 29, p. 407-412, 12 fig. — Leurs déplacements suivant les époques de l'année. E. 21323. CDU 720.959.

177-59. Éclairage. Éclairage diurne, éclairage des vitrines, éclairage intérieur, éclairage publicitaire. BUDKIEWIEZ (M.); *Tech. Archt.*, Fr. (1952), n° 7-8, p. 60-63, 20 fig. — Étude de l'éclairage d'un magasin en vue d'utiliser au maximum le pouvoir attractif de la lumière. E. 21205. CDU 696.93 : 725.21 : 628.973.

178-59. Éclairage fluorescent. Aperçu des bases scientifiques et techniques. Applications des lampes fluorescentes et de leurs accessoires. ZWIKER (C.); Éd. : N. V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, Pays-Bas; Dunod, Paris (1951), 1 vol., 012 + 266 p., 186 fig., 1 pl. h. t., réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-716 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 58. — E. 21217. CDU 696.930.44 (02).

179-59. L'utilisation des lampes fluorescentes. II. VENDOME (R.); *Bâtir*, Fr. (juin 1952), n° 22, p. 22-29, 15 fig. — Précautions et limites d'emploi des tubes fluorescents. Règles d'installation. Règles d'entretien. Utilisations. E. 21247. CDU 696.930.44.

180-59. Principes d'un nouveau diagramme d'éclairage diurne des bâtiments (Grondslagen voor een nieuw dagverlichtingsdiagram). KOSTEN (C. W.); *Ingenieur*, Pays-Bas (28 déc. 1951), n° 52, p. 065-069, 14 fig., 3 réf. bibl. (résumé anglais). — Les éléments les plus importants de l'éclairage diurne des bâtiments sont : le facteur d'éclairage diurne et le facteur de ciel. Explication de ces deux éléments et description de plusieurs méthodes de calcul du facteur de ciel en se basant sur les plans d'un bâtiment. Description d'un diagramme de calcul « idéal » pour l'exécution de ces calculs. E. 18615. CDU 696.93.

Dif PROTECTION CONTRE LES DÉSORDRES ET ACCIDENTS

Dif j Protection contre le bruit et les vibrations.

181-59. Intervention du chauffage et du conditionnement d'air dans l'acoustique du bâtiment. CADIERGUES (R.); *Chauff. Ventil. Conditionn.*, Fr. (juin 1952), n° 6, p. 12-14, 17-18, 21-24, 27-28, 31, 17 fig. — Notions d'acoustique; problèmes posés pour l'installation de chauffage dans l'isolation acoustique des bâtiments; règles à respecter dans le montage des installations thermiques. Réduction du bruit provenant des installations thermiques (pompes, ventilateurs, etc.). Intérêt des plafonds chauffants et perforés. Examen de l'établissement des Cahiers des charges, étude

des projets et contrôles d'installations. E. 21140. CDU 699.844 : 697.243 : 697.9.

182-59. Recherches effectuées dans les habitations expérimentales sur la transmission du son par les fenêtres (Onderzoekingen in de proefwoningen betreffende de geluidwering van ramen). VAN DEN EIJK (J.), KASTELEYN (M. L.); *Gesondheidsorganisatie T. N. O.*, n° 11; *Tech. Phys. Dienst T. N. O.*, T. H., Pays-Bas (mars 1952), n° 35, VIII + 7 p., 26 fig. h. t. — E. 21300. CDU 699.844 : 690.282.

Dif m Protection contre les séismes, inondations.

183-59. Bâtiment préfabriqué construit dans une région sujette aux tremblements de terre (Precast plant built in earthquake region). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (24 juil. 1952), vol. 149, n° 4, p. 34-35, 4 fig. — E. 21666. CDU 728 : 693.057.1 : 699.841.

184-59. Morganza : un système de vannes de 20 millions de dollars pour le contrôle des crues (Morganza : a \$ 20 million flood gate). *Engng. News-Rec.*, U. S. A. (12 juin 1952), vol. 148, n° 24, p. 34-36, 39, 9 fig. — Ouvrage groupant cent vingt-cinq bassins comportant chacun deux vannes levantes de 8,6 m de haut et répartis sur une longueur de 1,200 km. Description des vannes et des travaux de terrassement et de fondations exécutés. Organisation générale du système de vannes. E. 21072. CDU 627.8 : 599.8.

Dif mu Protection contre le froid.

185-59. Nouveaux procédés pour les travaux d'hiver dans le bâtiment (Neue Verfahren für Winterarbeiten im Bauwesen). *Bauplan. Bau- tech.*, All. (juil. 1952), n° 10, p. 292-293. — E. 21555. CDU 620.192.422 : 699.8.

Dif n Danger aérien. Explosions.

186-59. Mesure des efforts sur les constructions soumises à des explosions sous-marines (Measurement of strains on structures subjected to underwater explosions). COHEN (D. S.), SCHAUER (H. M.); *Proc. Soc. Exper. Stress Analysis*, U. S. A. (1952), vol. 9, n° 2, p. 163-170, 14 fig. — E. 21373. CDU 614.83 : 620.1.

187-59. Abris pour la population civile en Suède (Refugios para la población civil en Suecia). SMIT (G.); *Inform. Constr.* (Inst. tec. Constr. Cemento), Esp. (juin-juil. 1952), n° 42, p. 199.21/1-199.21/6, 16 fig. (tiré de : « Byggnads-taren »). — E. 21293. CDU 699.85 : 690.354.

Dig 1 CANALISATIONS

188-59. La corrosion et la protection cathodique des conduites métalliques enterrées (Corrosion and cathodic protection of pipelines). SCHNEIDER (W. R.); *J. Amer. Wat. Works Ass.*, U. S. A. (mai 1952), vol. 44, n° 5, p. 413-427, 20 fig., 6 réf. bibl. — Exposé du mécanisme de la corrosion à laquelle sont soumises les canalisations métalliques enterrées et des méthodes qu'il convient d'appliquer pour étudier les courants électriques qui lui donnent naissance. Principe de la protection cathodique et de la protection anodique; exemples de réalisation d'électrodes de divers types. Electrodes horizontales et verticales; anodes de graphite de magnésium. Devis et choix de la protection électrique. F. E. DOLSON : Discussion. E. 20879. CDU 621.6 : 620.19 : 699.8.

189-59. Progrès dans la fabrication des tuyaux en béton et béton armé (Fortschritte in der Herstellung von Beton- und Stahlbeton-

rohren). MARQUARDT (E.); *Betonst. Ztg.*, All. (juil. 1952), n° 7, p. 251-256, 6 fig., 34 réf. bibl. (résumés anglais et français). — E. 21320.

CDU 621.6 : 693.54.

190-59. Composition du béton pour tuyaux en béton et en béton armé (Betonzusammensetzung für Beton- und Stahlbetonrohre). KATHEN (Von); *Betonst. Ztg.*, All. (juil. 1952), n° 7, p. 260-262, 4 fig., 2 réf. bibl. (résumés anglais et français). — E. 21320.

CDU 621.6 : 693.54.

191-59. Les nouvelles prescriptions suédoises pour les tuyaux de béton (Die neuen schwedischen Bestimmungen über Betonrohre). VOCT (H.); *Betonst. Ztg.*, All. (juil. 1952), n° 7, p. 265-267, 11 fig., 2 réf. bibl. (résumés anglais et français). — E. 21320.

CDU 621.6 : 693.54 : 389.6.

192-59. La construction et le montage de conduites de vapeur à distance (Konstruktion und Montage von Dampferleitungen). LAVANCHY (R.); *Installation*, Suisse (juin 1952), n° 3, p. 85-92, 8 fig. (Textes en français et en allemand) (Tiré du « J. Soud », 1952, n° 2-4). — E. 21210.

CDU 697.5 : 621.6.

193-59. Coefficients de frottement pour de grandes tuyauteries à plein débit (Friction factors for large conduits flowing full). BRADLEY (J. N.), THOMPSON (L. R.); *U. S. Dept. Int. Bur. Reclamat.* U. S. A. (mars 1951), Engng Monographs, n° 7, 61 p., 38 fig., 18 réf. bibl. — Théories et équations : REYNOLDS (O.), DARCY, NIKURADSE, VON KARMAN, PRANDTL, COLEBROOK, WHITE. Influence de la rugosité de la surface. Coefficients de frottement à adopter dans les projets. Renseignements utiles pour l'établissement du projet. Applications des résultats. Tableaux divers et diagrammes. — E. 21299.

CDU 621.6 : 532.5 : 518.5.

194-59. Système d'analyse électrique non linéaire pour le calcul des réseaux de tuyaux (Nonlinear electrical analogy for pipe networks). McILROY (M. S.); *Proc. A. S. C. E.* (Hydraulics Div.), U. S. A. (juil. 1952), vol. 78, separ. n° 139., 11 p., 6 fig., 12 réf. bibl. — E. 21671.

CDU 621.6 : 518.5.

195-59. L'état actuel de la technique des conduites forcées souterraines. TALOBRE (J.); *Mém. Trav. Soc. hydrotech.* Fr., Fr. (1952), n° 2, p. 163-181, 24 fig., 1 réf. bibl. — Constitution d'une conduite forcée souterraine, types de blindages et de revêtements. Propriétés mécaniques des roches, mesures sur les roches. Conditions de réalisation des conduites forcées souterraines. Expérience recueillie sur les puits de chute. Coefficient de sécurité et épreuves des puits de chute. Discussion. — E. 21710.

CDU 628.15 : 690.354.

196-59. Précontrainte et régime des tensions après la prise dans les galeries en pression munies d'un revêtement (Precompressione e regime delle tensioni dopo la presa, nelle gallerie in pressione rivestite). LELLI (M.); *Energ. elettr.*, Ital. (fév. 1952), vol. 29, n° 2, p. 69-72, 2 fig., 1 réf. bibl. — Pour éviter des

efforts excessifs de traction dans le revêtement d'une galerie en pression, on peut recourir à la précontrainte en injectant un mortier liquide entre l'extrados du revêtement et la paroi rocheuse. Du fait du retrait qui suit la prise du mortier, on doit craindre une décompression sensible; celle-ci est calculée en supposant que l'élasticité de la contraction hydraulique ne persiste pas après la prise. Exemple numérique qui indique une décompression inférieure à 7 % de la pression initiale. E. 19549.

CDU 628.15 : 693.6 : 518.5.

Dig m RÉSERVOIRS SILOS

197-59. Calcul et construction d'un château d'eau métallique de 500 m³ de capacité et de 25 m de hauteur. BARBIEUX (E.); *Bibl. Etudes Constr. Métall. Appar. Levage*, Belg. n° 19, 10 p., 5 fig. — Exemple de calcul d'une cuve de réservoir métallique de 10 m de diamètre et 6 m de hauteur sur fond sphérique convexe, système Intze, reposant sur une couronne supportée par un pylône métallique de 25 m. Détail de calcul de la cuve de la partie tronconique, du fond sphérique, du toit tronconique, de la couronne et du pylône sous l'action des charges verticales et du vent ainsi que des fondations en béton. E. 20954.

CDU 628.13 : 693.97.

198-59. Construction en bois pour abriter des silos à grains (Houtconstructie voor graanopslagplants). Bouw, Pays-Bas (1^{er} mars 1952), n° 9, p. 165, 6 fig. — Description de la charpente en bois lamellé d'un bâtiment de 135 m de long sur 25 m de large destiné à protéger des silos à grains. E. 19423.

CDU 725.36 : 694.11.

Do ENTREPRISES. ORGANISATION. MAIN-D'ŒUVRE

199-59. Les techniques de documentation aux États-Unis. Éd. : Organis. européenne Coopération économ., Paris (1951), 1 vol., 59 p., réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-723 au chap. III « Bibliographie ». — E. 21573.

CDU 690 : 025.4 (02).

Dod MATÉRIEL ET OUTILLAGE

200-59. Le matériel de travaux publics aux Foires de Paris et Lyon, 1952. L. MOREL (H.); *Tech. mod. Constr.*, Fr. (juil. 1952), t. 7, n° 7, p. 219-226, 20 fig. — Description de divers matériels de travaux publics. Marques et caractéristiques sommaires. E. 21451.

CDU 621.7/8.

201-59. Les nouveaux matériels de travaux publics à la Foire de Paris. *Usine nouv.*, Fr. (10 juil. 1952), n° 28, p. 47, 49. — Compte rendu des meilleures réalisations en pelles mécaniques et grues sur chenilles, matériels de chargement, matériels de transport, matériel de compactage, matériel de concassage, matériel de vibration. E. 21250.

CDU 621.7/8.

202-59. Examen critique sur le développement des broyeurs vibrants VII. (fin). RINDER (R. de); *Sci. Tech.*, Belg. (1952), n° 3-4, p. 75-78, 15 fig. — Description de quelques types de broyeurs vibrants de diverses capacités. E. 21246.

CDU 622.73.

203-59. Érection au moyen de treuils, d'ossatures comprenant des arcs à rotules (Hinged-arch buildings raised with winches). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (17 juil. 1952), vol. 149, n° 3, p. 36-37, 10 fig. — La construction qui comporte une grande portée est entièrement assemblée sur le sol, puis est relevée d'abord au moyen de barres ou d'étais appliqués sur la rotule centrale, ensuite avec des treuils qui tirent pour rapprocher les deux appuis du bas l'un vers l'autre. La méthode a été inaugurée en Allemagne pendant la guerre et se répand aux États-Unis. — E. 21510.

CDU 690.236 : 690.022.

204-59. Chariots élévateurs pour les industries du bâtiment et des matériaux de construction (Stapler für die Bau- und Baustoffindustrie). RIEDIG (F.); *Bauwirtschaft*, All. (12 juil. 1952), n° 28 : « Baumaschine-Baugerat », n° 8, p. 51-54, 13 fig. — Conditions pour l'emploi économique. Chariots élévateurs à main, chariots à fourche. Diagrammes. E. 21260.

CDU 621.874.

205-59. Règles et recommandations pour l'étude, l'exécution et l'entretien des installations de pompes hydrauliques. *Syndic. Constr. pompes*, Fr., 101 p., 83 fig., 3 fig. h. t. — Pompes : généralités, définitions et mesures; études préliminaires; renseignements à fournir pour obtenir une offre; règles de détail à suivre dans la réalisation des installations; mise en route; incidents de fonctionnement; entretien. En annexe : tableaux de renseignements. E. 20931.

CDU 621.65.

Dof ORGANISATION DES CHANTIERS

206-59. Comptes rendus des travaux de chantier à établir par les constructeurs (Site records for builders). M. O. W., G.-B. (1952), 27 p., 22 fig., 6 pl. h. t. — Programme de construction; tableaux d'avancement simples. Le programme est pris pour base pour évaluer la main-d'œuvre et les besoins de l'installation en matériel et en matériaux. Comparaison des prix de revient évalués et réalisés. Programme pour l'emploi de l'installation mécanique. E. 21417.

CDU 690.08.

F. — LES OUVRAGES

Fac ÉLÉMENTS PORTEURS

207-59. Poutres et colonnes composées (Vigas y columnas compuestas). GRANHOLM (H.); *Inform. Constr.* (Inst. tec. Constr. Cimento), Esp. (juin-juil. 1952), n° 42, p. 422.11/1-422.11/4, 15 fig. — E. 21293.

CDU 690.25 : 690.237.52 : 518.5.

Fac j Ossatures. Piliers. Colonnes.

208-59. Étude expérimentale de l'impact transversal d'une masse sur un poteau (Expe-

rimental study of the transverse impact of a mass on a column). HOPPMANN (W. H.); *Proc. Soc. Exper. Stress Analysis*, U. S. A. (1952), vol. 9, n° 2, p. 21-30, 12 fig., 10 réf. bibl. — Résultats de recherches expérimentales de la réponse des poteaux à la force d'impact d'une sphère massive. Les essais ont été effectués sur trois poteaux de petites dimensions, simplement appuyés et atteints à mi-hauteur par la sphère. Mesures des déformations et du fléchissement. Discussion. E. 21373.

CDU 690.237.52 : 620.1.

209-59. Le « Skylon » (fuseau vertical du Festival de Londres) (The Skylon). SAMUELY

(F. J.), WARD (P. J. A.); *Proc. Instr. civ. Engrs.* G.-B. (juil. 1952), vol. 1, n° 4, p. 444-466, 17 fig., 10 fig. h. t., 1 réf. bibl. — Description, fabrication, montage et calculs. E. 21269.

CDU 690.237.52 : 693.97 : 727.6.

210-59. Recherche expérimentale sur un pylône en treillis pour ligne électrique aérienne (Indagine sperimentale su un palo a traliccio per elettrodotto). CASTIGLIA (C.), RACUGNO (G.); *Ingegneria*, Ital. (juin 1952), n° 6, p. 675-679, 10 fig. Hauteur 44 m. Tension 220 kV. — E. 21147.

CDU 690.237.52 : 693.97.

211-59. Mur en blocs sans mortier pour une école de Port Lyautey (Maroc) (Mortarless wall-

blocks in Port Lytautey school). CHESNEY (D. R.), MIDDLETON (W. D.); U. S. Navy. *Civ. Engr. Corps, Bull.*, U. S. A. (juil. 1952), vol. 6, n° 7, p. 188-189, 2 fig. — L'école est un bâtiment qui ne comporte qu'un étage. Les murs ont été faits en blocs « Durisol » d'environ $200 \times 200 \times 400$, avec rainures d'emboîtement et deux piles intérieures. La construction a été très rapide. E. 21371.

CDU 690.22 : 691.32-412.

212-59. Construction industrielle de murs de refends (Industrielle Konstruktionen von Zwischenwänden). MASUR (M. P.); *Bauplan. Bautech.*, All. (juin 1952), n° 9, p. 248-250, 7 fig. — E. 21554.

CDU 690.22.

213-59. La construction en briques sur champ des murs porteurs dans les bâtiments à un seul étage (Brick-on-edge construction). *Commonwealth Exper. Build. Sin.* (Sci. Build). Austral. (avr. 1952), n° SB 23, 4 p., 4 fig. — E. 21216.

CDU 690.22 : 691.421.

214-59. Les conduits de fumée unitaires. Systèmes à gaine commune comportant des départs individuels. *Cah. Centre sci. tech. Bâtim.*, Fr. (1952), n° 15 (cah. 143), 44 p., 59 fig. — Rapport présenté par le C. S. T. B. à la Commission Consultative des conduits de fumée. Exposé des difficultés de la construction des conduits de fumée, de la règle des conduits séparés, de la position réglementaire de divers pays et des fondements de la règle des conduits séparés. Description du système Shunt. Examen des améliorations apportées par les systèmes de conduits à gaine commune comportant des départs de fumée individuels. Références d'emploi du système Shunt en Belgique. Expériences hollandaises. Essais à Toulon. Examen des possibilités d'accident par l'oxyde de carbone, des gains d'encombrement et des prix. Conclusion à une prise en considération du système. En annexe : règles techniques pour l'établissement des conduits à gaine commune, enquête en Belgique, liste des références, références spéciales pour bâtiments de sept niveaux au moins. E. 21271.

CDU 597.8 : 331.14.

215-59. Étude technique des conduits de fumée. II. (DELL'ORO (J.); *Chaud. Froid*, Fr. (juil. 1952), n° 67, p. 33-35, 1 fig. — Conditions de bonne exécution des conduits de fumée et de ventilation des chaufferies. Tableau de renseignements pratiques pour avant-projet de chaufferie. E. 21319.

CDU 697.243 : 697.8.

216-59. Ossatures en béton armé ou métalliques? VERDEYEN (J.); *Ossature métall.*, Belg. (juil.-août 1952), n° 7-8, p. 385-390, 2 fig. — Avantages et inconvénients des deux systèmes d'ossatures en béton armé et en acier. Étude comparative chiffrée des deux systèmes sur des exemples concrets. Conclusions. E. 21211.

CDU 693.95 : 693.97.

217-59. Constructions en béton armé avec squelette porteur constitué par des éléments périphériques triangulés (Stahlbetonkonstruktionen mit äusseren Bewehrungs skelett). USCHAKOW (N. A.); *Bauplan. Bautech.*, All. (juin 1952), n° 9, p. 246-248, 3 fig. — E. 21554.

CDU 693.95 : 693.97.

Fac I Poutres. Dalles. Planchers.

218-59. L'économie et les poutres en béton (Economy and concrete beams). SAWYER (H. A. Jr.); J. A. C. I., U. S. A. (mai 1952), vol. 23, n° 9, p. 773-784, 5 fig., 8 réf. bibl. — Rapports et diagrammes permettant de fixer les dimensions transversales des poutres du point de vue de l'économie des matériaux, en utilisant la théorie de Whitney. Les dimensions optima dépendent des taux relatifs des diverses matières, des résistances relatives et des rapports entre les longueurs et les sections. E. 21198.

CDU 690.237.22 : 693.55 : 690.031.

Fac m Toitures. Voûtes. Dômes. Coupôles. Arcs. Escaliers.

219-59. Escalier sur voûte en briques creuses résistantes. *Tuiles, Briques*, Fr. (1952), n° 10, p. 5-7, 6 fig. — Compte rendu d'essai par le bureau Véritas d'un escalier d'accès construit au Salon des Arts Ménagers. Escalier en voûte de 13 m de rayon, construit en briques creuses de $5 \times 15 \times 25$ placées longitudinalement et hourdées au mortier de ciment. E. 21598.

CDU 690.26 : 690.236 : 691.421-478.

220-59. Escalier dans une usine à Lorient. *Glaces, Verres*, Fr. (juin 1952), n° 120, p. 6-7, 3 fig. — Exemple d'emploi de briques de verre pour le vitrage d'une cage d'escalier par éléments préfabriqués de grandes dimensions. E. 21134.

CDU 690.26 : 691.6.

221-59. Escaliers en acier. I. H. PEISSI (P.); *Bâtir*, Fr. (juin 1952), n° 22, p. 12-17, 15 fig.; (juil. 1952), n° 23, p. 16-21, 12 fig. — Exemples détaillés de quelques escaliers en acier : escaliers de l'immeuble de la rue Duret à Paris et escalier type P. M. Description de l'escalier monumental de l'Institut de Recherches de la Sidérurgie à Saint-Germain-en-Laye, à limon unique en hélice, d'un escalier hélicoïdal de studio et d'un escalier d'immeuble, 20, rue Jean-Jaurès à Puteaux. E. 21247, 21539.

CDU 690.26 : 693.97.

222-59. La cage d'escalier dans l'industrie du bâtiment (Das Treppenhaus im Industriebau) SCHULZE (W.); *Bauplan. Bautech.*, All. (juin 1952), n° 9, p. 250-252, 15 fig., 1 réf. bibl. — Différentes positions des escaliers dans les bâtiments pour bureaux et dans les bâtiments industriels. Conséquences. E. 21554.

CDU 690.26 : 725.23 : 725.4.

223-59. La « Housing and Home Finance Agency » recommande des charges plus logiques pour les toits (HHFA recommends more realistic roof loads). *Engng New-Rec.*, U. S. A. (3 juil. 1952), vol. 149, n° 1, p. 81, 4 fig. — E. 21295.

CDU 690.24 : 690.46.

224-59. La toiture (Het dak). LUDOWICI (J. C.); *Bouw*, Pays-Bas (1^{er} mars 1952), n° 9, p. 157-159, 4 fig. — Considérations générales. Relations existant entre la forme et la dimension de la toiture et la disposition des murs. Pente à donner. E. 19423.

CDU 690.24.

225-59. Un procédé moderne de couverture industrielle. ROCHE (Ch.); *Bâtir*, Fr. (juin 1952), n° 22, p. 8-10, 4 fig. — Description du système de couverture Paulin comportant des poutres maîtresses de hauteur variable réunies par des éléments de couverture en forme de U (le tout en béton armé). Les éléments de couverture sont réunis par des bandes de vitrages. E. 21247.

CDU 690.24 : 725.4.

226-59. Calcul et construction d'une toiture en voile mince de grande portée en béton précontraint (The design and construction of a large span prestressed concrete shell roof). KIRKLAND, GOLDSTEIN; *Struct. Engr.*, G.-B. (avr. 1951), p. 107-127, 20 fig., 8 réf. bibl. — Couverture d'un garage par neuf voûtes cylindriques de 10 m de largeur et de 44,5 m de portée dont les poutres de rives sont précontraintes. Mode de construction. En annexe : formules commentées de la méthode de calcul de Finsterwalder. Dans seize tableaux h. t. : valeurs calculées pour le cas étudié. E. 21449.

Traduction I. T., n° 334, 37 p.

CDU 690.244 : 693.55.

227-59. Diverses formes de toitures en voûtes minces et leurs applications (Various forms of shell roofing and their application). MILLS (E.); *Architect*, G.-B. (10 juil. 1952), vol. 202, n° 4360, p. 64-67, 8 fig. — E. 21261.

CDU 690.244 : 693.55.

228-59. Essais sur l'application de couvertures en voûte dans les habitations (Versuche über die Anwendung von Gewölbedecken im

Wohningsbau). LEINENBACH (A.); *Planen Bauen*, All. (fév. 1952), n° 4, p. 81-83, 3 fig. — E. 21199.

CDU 690.236 : 728.

229-59. Étude de modèles réduits d'arcs dans le domaine flexible. Technique d'essais (Model arches in the flexible range. Testing technique). ROWE (R. S.), SHORE (S.); *Proc. Soc. Exper. Stress Analysis*, U. S. A. (1952), vol. 9, n° 2, p. 31-42, 10 fig. — Ce mémoire présente les méthodes et le matériel d'essais utilisés pour mesurer les moments et les poussées dans les modèles réduits d'arcs. E. 21373.

CDU 690.236 : 620.015.7.

230-59. Dôme en béton armé préfabriqué (Carlsruhe, Allemagne) (A precast reinforced concrete dome). *Concr. Constr. Engng*, G.-B. (juil. 1952), vol. 47, n° 7, p. 212-213, 3 fig. — E. 21297.

CDU 690.236 : 693.55 : 693.057.1.

Fad ÉLÉMENTS NON PORTEURS

Fad I Menuiseries.

231-59. Un ouragan artificiel met les fenêtres à l'épreuve (Man-made hurricane tests windows). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (26 juil. 1952), vol. 148, n° 26, p. 49-50, 2 fig. — L'Association des Fabricants de Fenêtres de la Floride a créé un dispositif d'essai très rigoureux pour vérifier l'étanchéité des fenêtres contre les infiltrations, même en cas d'ouragans très violents. Le laboratoire d'essai est un bâtiment à toit plan contenant un moteur d'avion à cylindres radiaux, muni d'une hélice à pas variable. L'eau est introduite en arrière du moteur à raison de 20 g par minute. Le bâtiment comprend deux fenêtres de dimension courante dont l'une fonctionne comme contrôle. Résultats obtenus. E. 21294.

CDU 690.282 : 620.1.

Feb HABITATIONS

232-59. Chantiers américains. *Cah. Centre sci. tech. Bâtim.*, Fr. (1952), n° 15 (cah. 142), 62 p., 31 fig. — Rapport de la Mission de productivité « Architectes, Ingénieurs, Entrepreneurs », envoyée sur les chantiers américains par le gouvernement français en août 1951. E. 21271.

CDU 728 (061.3).

Feb I Habitats individuelles.

233-59. Essai sur l'habitation tropicale. Éd. : Bur. centr. Études Équip. Outre-Mer Serv. Habitat, Paris (1952), 1 vol., 70 p., nombr. fig., 10 pl. h. t. — Voir analyse détaillée B-722 au chap. III « Bibliographie ». — E. 21642.

CDU 728.3 : 690.37 (02).

234-59. Logement des indigènes (Native housing). CUTTEN (A. J.); *S. Afr. Archit. Rec.*, Afr. S. (mai 1952), n° 5, p. 114-125, 6 fig. — Conférence faite à Johannesburg sur les quartiers et les habitations pour indigènes. E. 21138.

CDU 728.3 : 690.37.

235-59. Groupe d'habitations à Kleinpolder-West, Rotterdam (Systeembouw in Kleinpolder-West, Rotterdam). SCHNEIDER (H. B.); *Polytech. T.*, Pays-Bas (15 avr. 1952), n° 15-16, p. 251b-259b, 24 fig. — La rationalisation a été poussée au maximum. Les maisons sont à trois étages sur fondations en pieux de béton armé. Ossature et planchers en béton armé. Murs en parpaings creux moulés en chantier. Détails de construction : escaliers, canalisations, etc. E. 20136.

CDU 728.3 : 690.022.

Feb mo Immeubles
de rapport.

236-59. Construire en hauteur. STIJNEN (L.); *Ossature métall.*, Belg. (juil.-août 1952), n° 7-8, p. 379-384, 13 fig. — « L'habitation d'aujourd'hui doit être conçue comme un service public réalisé pour et par la communauté. » E. 21211. CDU 725.8 : 693.97.

237-59. Les trois « gratte-ciel » de Bâle (Die drei Hochhäuser in Basel). *Hoch-Tiefbau*, Suisse (5 juil. 1952), n° 27, p. 216-222, 11 fig. (p. 216-217 : en français). — La particularité de ces bâtiments, de douze étages chacun, est qu'ils sont construits en briques portantes bordées au mortier de ciment de très bonne qualité. Des études antérieures avaient prouvé la haute résistance des murs de briques dans ces conditions. L'épaisseur des murs extérieurs est en moyenne de 30 cm. Celle des parois intérieures est de 18 cm aux deux premiers étages, 15 cm au-dessus. Les avantages revendiqués sont notamment : moindre prix de revient, simplicité de l'emploi de la brique, rapidité d'exécution, bonne isolation acoustique. Le chauffage s'effectue par les planchers. E. 21160. CDU 720.922.2 : 693.2 : 691.421.

238-59. Habitations à loyer modéré de la Cité des Deux-Portes aux Martigues. Application des procédés nouveaux de construction : béton caverneux, coffrages grilles, planchers réticulés. Constructions diverses pour la S. N. C. A. S. E. à Marignane. KALESKI (R.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (juil.-août 1952), n° 55-56 (Gros-œuvre-III), p. 769-784, 30 fig. (Résumé anglais). Avantages d'économie et de rapidité d'un nouveau procédé appliqué sur un chantier d'habitation. Grands bâtiments construits à l'aéroport de Marignane : hangar, ateliers, soufflerie. E. 21724. CDU 690.022 : 728.

Feb BATIMENTS
CULTURELS

239-59. Le nouvel hôpital civil de Charleroi. DEPELSENAIRE (J.); *Tech. hosp.*, Fr. (juil. 1952), n° 82, p. 32-34, 3 fig. — Description d'un hôpital : plan d'ensemble, construction, répartition des services, réalisation de l'unité d'hospitalisation. E. 21232. CDU 725.51.

240-59. Le nouvel immeuble de la Caisse des Congés payés et de la Caisse des Retraites des Entrepreneurs du Bâtiment de la Région Parisienne, 22, rue de Dantzig, à Paris (15^e). BOUCHET (A.); *Tech. Trav.*, Fr. (juil.-août 1952), n° 7-8, p. 194-201, 17 fig. — Description générale d'un immeuble en béton armé. Détails de construction. E. 21289. CDU 725.83 : 693.55.

241-59. Les bâtiments de l'Exposition de la Rive Sud (Festival 1951) (Festival of Britain, 1951 : The South Bank Exhibition buildings). CASSON (H.), FREEMAN (R.), TRAFFORD JAMES (R.); *Proc. Instn. civ. Engrs.*, G.-B. (juil. 1952), vol. 1, n° 4, p. 346-389, 6 fig., 15 fig. h. t., 3 réf. bibl. — E. 21269. CDU 727.6.

242-59. La reconstruction de la halle de Westphalie à Dortmund (Der Wierderaufbau der Westfalenhalle in Dortmund). NEUMANN (R.); *Stahlbau*, All. (mai 1952), n° 5, p. 80-83, 7 fig.; (juin 1952), n° 6, p. 98-100, 4 fig. — Construction mixte béton armé et acier. Halle ovale de 117,5 x 98 m. Toute la partie basse des caves jusqu'à 14 m de hauteur, gradins, escaliers, murs, etc., est en béton armé. La couverture est constituée par une charpente en acier en forme de voûte, la portée entre appuis est de 100 m suivant le grand axe et de 82 m suivant le petit axe de l'ovale. E. 20376. 21208. CDU 725.8 : 693.97.

243-59. Projet de concours pour la nouvelle

halle de Westphalie à Dortmund (Wettbewerb-entwurf für die neue Westfalenhalle in Dortmund). DÖRNER (A.); *Stahlbau*, All. (juin 1952), n° 6, p. 89-90, 5 fig. — E. 21208. CDU 725.8 : 693.97.

Fed OUVRAGES
D'UTILITÉ PUBLIQUE

Fed j Travaux militaires.

244-59. Le bilan du Shape-Village. SPINETTA; *Bâtiment*, Fr. (12 juil. 1952), n° 28, p. 8, 1 fig. (Conférence prononcée à la Fédération. Bâtim.) — Enseignements à tirer de l'expérience du Shape-Village. Prépondérance des facteurs humains. Simplicité et rusticité nécessaires. Élimination des finitions. E. 21313. CDU 725.18.

Fed la Alimentation
en eau.

245-59. Les adductions d'eau potable. *Orient. tech.*, Fr. (juil. 1952), n° 7, p. 13-16, 3 fig. — Description de l'alimentation en eau de l'Oum er Rebia (Casablanca) : prise d'eau, conduite de refoulement, station d'épuration. Autres travaux réalisés, en cours ou en projet. E. 21429. CDU 628.16.

Fed m Hygiène publique.

246-59. Fosses septiques et épurateurs. *Equip. tech.*, Fr. (juin 1952), n° 54, p. 19, 21, 23, 7 fig. — Généralités sur les fosses septiques épuratrices et description détaillée d'une installation. Fosses chimiques, mode d'installation, caractéristiques de certains appareils. E. 21202. CDU 628.35.

247-59. Le réseau d'évacuation des eaux usées de Miami (par l'île de Virginia Key) est approuvé (Miami voters sanction sewage system construction). *Engng. News-Rec.*, U. S. A. (12 juin 1952), vol. 148, n° 24, p. 51-53, 3 fig. — E. 21072. CDU 628 : 3.

Fed n Génie rural.
Irrigations.

248-59. Traité d'irrigation. BAUZH (V.); Éd.: Eyrolles, Paris (1952), 2 vol. : (Texte) : 413 p., 210 fig., 24 réf. bibl.; (Atlas) : 6 p. de texte, 30 fig., 10 pl. — Voir analyse détaillée B-712 au chap. III « Bibliographie » de la D. T. 58. — E. 21156. E. 21157. CDU 631.6 : 518.3 (02).

249-59. Le projet d'irrigation de la Central Valley (Californie). I. (The Central Valley project, California). *Engineering*, G.-B. (4 juil. 1952), vol. 174, n° 4510, p. 4-5, 2 fig. — E. 21215. CDU 631.6 : 627.8.

Fib OUVRAGES INDUSTRIELS
ET COMMERCIAUX

Fib je Industrie.

250-59. L'acier dans l'architecture industrielle. MASI (F.); *Ossature métall.*, Belg. (juil.-août 1952), n° 7-8, p. 361-365, 5 fig. — E. 21211. CDU 725.4 : 693.97.

251-59. Quatre cheminées en béton armé à Fawley (Angleterre) (Four reinforced concrete chimneys at Fawley, Hants). *Concr. Constr. Engng.*, G.-B. (juil. 1952), vol. 47, n° 7, p. 222-224, 1 fig. — E. 21297. CDU 697.8 : 693.55.

Fib l Dépôts de marchandises.
Marchés.

252-59. Nouveau bâtiment pour emmagasiner 20 000 t de potasse à Wismar (Allemagne) (Der Neubau des Speichers für 20 000 t Kal. in Wismar). VÖLCKERS (W.); *Planen Bauen*, All. (fév. 1952), n° 4, p. 73-76, 13 fig. — E. 21199. CDU 725.35.

253-59. Le nouveau bâtiment de la North-Western Mutual Fire Association à Los Angeles. *Ossature métall.*, Belg. (juil.-août 1952), n° 7-8, p. 347-352, 11 fig. — Exposé du parti adopté par l'architecte R. J. NEUTRA pour la construction des bureaux d'une compagnie d'assurances. Détails constructifs. E. 21211. CDU 725.23 : 693.97.

254-59. L'éclairage des bâtiments à usage de bureaux (The lighting of office buildings). *Lighting Comm. Build. Res. Board Dept. Sci. Industr. Res. (M. O. W.)*, G.-B. (1952), Post. war Build. Stud. n° 30, 88 p., 63 fig., 8 pl. h. t., 32 réf. bibl. — L'ouvrage étudie successivement trois modes d'éclairage : l'éclairage naturel à la lumière du jour, l'éclairage artificiel associé à l'éclairage naturel et destiné à compléter ce dernier et enfin l'éclairage artificiel considéré comme éclairage unique. Conditions qui régissent l'emploi de ces trois sortes d'éclairage. Installations d'éclairage dans les divers locaux. Amélioration de l'éclairage de bâtiments existants. E. 21073. CDU 725.23 : 696.92 : 696.93.

Fib n Production d'énergie.
Barrages.

255-59. Considérations sur les propriétés des mélanges d'agréats et de bitume en ce qui concerne leur application aux travaux hydrauliques (Enige beschouwingen over de eigenschappen van bitumen-mineraalaggregaatmengsels in verband met toepassing van deze in de waterbouw). NIJBOER (L. W.); *Ingenieur*, Pays-Bas (18 juil. 1952), n° 29, p. B.113-B.122, 22 fig., 6 réf. bibl. (résumé anglais). — E. 21330. CDU 691.328.2 : 691.161.

256-59. Quatrième Congrès des Grands Barrages (New Delhi, janv. 1951) (Fourth congress on large dams, New Delhi, janv. 1951). *Commis. international. Grands Barrages Confér. mond. Energie*, Fr., Compte rendu du IV^e Congrès. Vol. 1, question n° 13, xxxvi + 517 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl. — Projets et construction des barrages en terre et en enrochements avec leurs écrans et diaphragmes. Textes du rapport général et des vingt-trois rapports individuels. Discussion. — Vol. 2, question n° 12, xxxi + 1019 p., nombr. fig., réf. bibl. — Méthodes pour déterminer le débit de crue maximum à prévoir pour un barrage. Choix de la disposition des évacuateurs et déversoirs, détermination de leur capacité d'évacuation. Textes du rapport général et des quarante-deux rapports individuels. Discussion. — Vol. 3, question n° 15, xxxv + 577 p., nombr. fig., réf. bibl. — Béton pour grands barrages. Textes du rapport général et des trente rapports individuels. Discussion. — Vol. 4, question n° 14, xxx + 645 p., nombr. fig., réf. bibl. — Sédimentation dans les réservoirs et problèmes connexes. Textes du rapport général, des seize rapports individuels, des dix-sept communications et des quatre conclusions. Discussion (Résumés en anglais et français). — E. 21344, 21345, 21346, 21347. CDU 627.8 (061.3) (02).

257-59. Géologie de barrages aux États-Unis. *Ann. Mines*, Fr. (1952), n° 3-4, p. 134-136. — Notes de M. GOGUEL au cours d'un voyage aux États-Unis sur l'étude des conditions géologiques du site et le traitement des fondations des barrages américains. E. 21472. CDU 627.8 : 624.131.

258-59. Dégâts dus aux sous-pressions s'exerçant sur la maçonnerie dans les barrages (Uplift in masonry dams). *Proc. A. S. C. E.* (Pow. Div.), U. S. A. (juin 1952), vol. 78, Separ. n° 133, 35 p., 14 fig. — E. 21307.

CDU 624.15 : 690.592 : 627.8.

259-59. La digue de Fort Randall augmente la capacité d'emmagasinement sur le Missouri (Fort Randall Dam to provide more storage on Missouri River). HOEFFER (H. J.); *Civ. Engng.*, U. S. A. (juil. 1952), vol. 22, n° 7, p. 38-45, 12 fig. — E. 21509.

CDU 627.8.

260-59. Barrages récents en France. I-II-III (fin) (Neuere Talsperrenbauten in Frankreich). LINK (H.); *Bautechnik*, All. (mai 1952), n° 5, p. 131-138, 20 fig., 12 réf. bibl.; (juil. 1952), n° 7, p. 183-190, 22 fig., 12 réf. bibl.; (août 1952) n° 8, p. 212-218, 16 fig., 6 réf. bibl. — Barrages récents en France : Génissiat, Vassivière, Plan d'Aval (Aussais), Saint-Etienne-Cantalès, l'Aigle, Chastang, Bort, Verdon, Doustère, Vézère, Vioulou, Isère, Maronne, Truyère, Saint-Michel, La Grotte, Pannessière, Grandes Patures, Marèges. E. 20377. E. 21264. E. 21693.

CDU 627.8.

261-59. Bassin de tranquillisation des ouvrages de décharge pour la digue Texarkana sur la Sulphur River (Texas). Etude sur modèle hydraulique (Outlet works stilling basin for Texarkana dam Sulphur River, Texas. Hydraulic model investigation). *Corps Engrs.*, U. S. Army (Watterways Exper. Stn, Vicksburg, Miss.), U. S. A. (juin 1952), tech. memor. n° 2-346, 17 p., 7 fig., 30 fig. h. t., 14 pl. h. t. — E. 21515.

CDU 627.8 : 620.1 : 533.6.

262-59. Barrages destinés à la production d'énergie électrique. *Orient. tech.*, Fr. (juil. 1952), n° 7, p. 3-9, 10 fig. — Description des barrages sur l'Oum er Rebja, sur l'Oued el Abid, sur l'Oued N'Fis, (Maroc). — E. 21429.

CDU 627.8.

263-59. Barrage de Grand Coulee (Greatest U. S. irrigation scheme, Grand Coulee dam). *Muck Schifter*, G.-B. (juil. 1952), vol. 10, n° 7, p. 308, 312, 4 fig. — E. 21131.

CDU 627.8.

264-59. Problèmes de l'étude et de la construction du barrage de Knockendun (Ecosse) (Problems in the design and construction of Knockendun dam). BANKS (J. A.); *Proc. Inst. civ. Engrs.*, G.-B. (juil. 1952), vol. 1, n° 4, p. 423-443, 14 fig., 2 fig. h. t., 3 réf. bibl. — E. 21269.

CDU 627.8.

265-59. Considérations fondamentales sur l'étude et la construction des barrages (Consideraciones fundamentales en el proyecto y construcción de presas). BECERRIL (E.); *Cons. Sup. Investig. Ci.* (Inst. tec. Constr. Cemento), Esp. (1951), n° 113, 24 p., 26 fig. (résumés français et anglais), (Conférence prononcée à l'I. T. C. C. le 29 jan. 1951). — Barrages-poids. Coefficients de sécurité pour les barrages. Les barrages considérés comme des monolithes. Dispersion de la chaleur due à la prise. Barrages droits et barrages courbes. Déversoirs et problèmes y relatifs. Importance des leviers sur le terrain. E. 21296.

CDU 627.8.

266-59. Les usines hydro-électriques souterraines. LEWIN (J. D.); *Monde souterr.*, Fr. (juin 1952), n° 71, p. 721-729, 26 fig. — Principes généraux des aménagements souterrains, leurs caractéristiques, les méthodes de construction, les revêtements. E. 21508.

CDU 627.8 : 690.354.

267-59. Les centrales hydro-électriques souterraines. MAINARDIS (M.); *Monde souterr.*, Fr. (juin 1952), n° 71, p. 730-735, 3 fig. — Principes généraux suivis dans l'étude et la construction des centrales hydroélectriques souterraines. Comparaison des centrales souterraines et des centrales à l'air libre du point de vue économique. Avantage de l'installation des transformateurs souterrains; quelques problèmes d'installations mécaniques ou électriques. E. 21508.

CDU 627.8 : 690.354.

268-59. Dimensionnement des canaux col-

lecteurs servant de décharges de surface (Sul proporzionamento dei canali collettori a servizio di scarichi di superficie). VIPARELLI (C.); *Energ. elettr.*, Ital. (juin 1952), vol. 29, n° 6, p. 341-353, 26 fig., 6 réf. bibl. — Equation générale de l'équilibre dynamique dans une direction perpendiculaire à l'axe du collecteur. E. 21328.

CDU 627.8 : 626.1 : 532.

269-59. Observations sur la stabilité des puits piézométriques (Questioni di stabilità dei pozzi piezometrici). GHETTI (A.); *Energ. elettr.*, Ital. (juin 1952), vol. 29, n° 6, p. 387-391, 3 fig., 4 réf. bibl. — E. 21328.

CDU 627.8 : 532.

Fid VOIES DE COMMUNICATION

Fid ja Routes.

270-59. Journées Techniques de la route en A. O. F., Dakar, IV-1952. *Rev. gén. Routes, aérod.*, Fr. (juin 1952), n° 245, 92 p., nombr. fig. — P. JACQUINOT : Développement du réseau routier de l'A. O. F. Vue d'ensemble du programme des conférences et visites de chantiers. R. LANTENOIS : Programme routier de l'A. O. F.; ses grandes lignes, données techniques et financières. J.-L. BONNEFANT : Rentabilité des routes dans les pays neufs; conditions minima d'exécution des routes en terre et chaussées perfectionnées; équipement. JONEAUX : Note sur l'économie des routes en terre; formules représentant la dépense d'entretien; solution la plus économique. SIEPPE : Utilisation des matériaux locaux pour le revêtement des routes en A. O. F.; utilisation de la latérite, gisements de pierres, des sables et des coquillages. — WALLART : Organisation des chantiers routiers en A. O. F. sous l'angle de l'efficacité; leur préparation, organisation des ateliers, l'exécution. Voyage à Kaolack : chantiers de : Diam-Niayes-M'Bour-Kaolack. MAURIN : Exposé sur les sols-bitume. GIRAUD : L'entretien des routes dans les pays neufs; procédés efficaces, matériel optimum, emploi des latérites. DREYFUS : La latérite; généralités, son utilisation en technique routière : latérites d'A. O. F., durcissement, granulométrie, constituants argileux, utilisations. CLERC : Recherches sur l'orientation à donner à l'adaptation du matériel routier aux conditions particulières de l'Afrique; robustesse et simplicité en rapport avec l'isolement des chantiers, contingences particulières au climat, matériels spéciaux. Visite de chantiers du Service d'Aménagement Temporaire du Grand-Dakar : presqu'île du Cap-Vert, Corniche-Ouest, aéroport de Yoff, route Dakar-Rufisque. Voyage à Saint-Louis : route Diam-Saint-Louis, piste d'envol de Saint-Louis. Port de Dakar. Ile de Corée; (môle, entrepôt frigorifique, stockages). P. DANAULT : L'infrastructure aérienne de l'A. O. F.; trafic, caractéristiques des aérodromes. E. 20989

CDU 625.7/8 : 629.139.1 (061.3).

271-59. Construction de la route n° 3 Amsterdam-Boedegraven-Rotterdam, en exécution du programme de 1948. (Aanleg van de weg n° 3 van het Rijkswegenplan 1948, Amsterdam-Boedegraven-Rotterdam). RIJPERMAN (M. E.); *Wegen*, Pays-Bas (avr. 1952), n° 437, p. 80-85, 12 fig. — Le programme prévoyait la construction de sept routes nouvelles ou améliorées pour dégager les sorties d'Amsterdam. Comme toujours en Hollande, les fondations ont posé de sérieux problèmes en raison du sol mou et spongieux. Tracé et profil de la route. Description des travaux. E. 20139.

CDU 625.7/8.

272-59. Constructions des routes sur un sol peu résistant (Enkele opmerkingen in verband met het aanleggen van wegen in slappe terreinen). VETH (H.); *Wegen*, Pays-Bas (juil. 1952), n° 7, p. 168-171, 7 fig., 1 réf. bibl. (résumé anglais). — E. 21317.

CDU 625.731 : 624.15.

273-59. Les dispositifs d'épandage des liants routiers. TEIL; *Rev. gén. Routes Aérodr.*, Fr.

(juil. 1952), n° 246, p. 45-54, 8 fig. — Généralités sur les rampes d'épandage. Description détaillée des rampes : Maine-et-Loire « Cadenat », type « américain » à jets plats multiples, « Eure-et-Loire », « Pavillet ». Discussion suivant l'exposé. E. 21318.

CDU 625.75 : 625.8.

274-59. Revêtements routiers en briques (Klinkerbestratungen). SCHOTMAN (H.); *Wegen*, Pays-Bas (avr. 1952), n° 437, p. 86-90, 9 fig. (résumé anglais). — Exposé d'un système de revêtement routier en briques utilisé aux États-Unis, et d'un autre appliqué en Allemagne (« Kellenpfaster »); dans les deux cas, les briques sont disposées sur un soubassement préalablement profilé. Avantages et inconvénients de cette méthode. Comparaison avec la méthode appliquée en Hollande. E. 20139.

CDU 625.88 : 691.421.

275-59. Méthodes d'essai des produits pour joints de dalles en béton appliquées au Laboratoire Central des Ponts-et-Chaussées. Description des méthodes et des appareils : leur rapport avec la réalité. Influence sur l'orientation des perfectionnements à apporter. DURIEZ (M.); *Rev. gén. Routes Aérodr.*, Fr. (juil. 1952), n° 246, p. 77-90, 95, 24 fig. — Considérations générales sur les qualités à exiger des joints pour dalles de chaussées. Description des méthodes et des essais mis au point au Laboratoire de Chimie Routière : pénétration, ramollissement, décantation, fluage, débordement, poinçonnement, comportement par temps froid et adhérence. Interprétation et importance relative des divers essais. Rapports entre les essais de laboratoire et la réalité. Conséquence d'ordre général à tirer des essais. Influence des essais sur l'orientation des perfectionnements à apporter. Conclusion. E. 21318.

CDU 625.84 : 693.54 : 688.5.

276-59. Résultats d'essais sur un revêtement de route en béton (Tests on concrete paving). BURGGRAF (F.); *Highw. Bridges Engng Works*, G.-B. (9 juil. 1952), vol. 19, n° 940, p. 4-6. — Effets comparatifs de véhicules de charge à un essieu arrière et à deux essieux arrière en tandem. E. 21262.

CDU 625.84 : 693.54 : 620.1.

277-59. Prescriptions pour rendre étanches les revêtements routiers en béton de ciment par injection de bitume chaud sous les plaques de revêtement (Vorschriften für die Abdichtung von Zementbetondecken durch Unterfüllung mit Bitumen). RAUDENBUSCH; *Strassen-Tiefbau*, All. (juin 1952), n° 6, p. 172-174. — E. 21144.

CDU 625.84 : 693.54 : 699.82.

278-59. Construction de routes en béton-argile-ciment (Bau von Zement-Ton-Betonstrassen). REINHOLD (F.); *Strassen-Tiefbau*, All. (juil. 1952), n° 7, p. 204-205, 14 fig. — E. 21663.

CDU 625.84 : 693.54.

279-59. Joints dans les revêtements de béton (De voegen in de betonweg). VAN DER BURGH (A. J. P.); *Wegen*, Pays-Bas (juil. 1952), n° 7, p. 163-167, 5 fig. (résumé anglais). — E. 21317.

CDU 693.510.688.5 : 625.84.

280-59. Routes en béton à armature continue (Continuously reinforced concrete roads). ANDREWS (W. P.); *Constr. Rev.*, Austral. (juin 1952), vol. 25, n° 2, p. 26-28 (Tiré de : « Roads Road Constr »). — E. 21538.

CDU 625.84 : 693.54.

281-59. Projets de revêtements en béton pour routes, rues et cours industrielles (Projeto dos pavimentos de concreto para estradas, ruas e patios industriais). *Assoc. Brasil. Ciment. Portland*, Brésil. (1951), n° 63, 34 p., 35 fig. — Fondations. Classement des routes d'après le trafic. Dimensions des sections transversales. Détermination de l'épaisseur. Tensions dues à diverses causes. Joints de dilatation. Joints ordinaires. Béton armé. Vérification finale. E. 21697.

CDU 625.84 : 693.54.

282-59. Revêtement du sol des virages (Paving speed bowl : Done with strings). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (10 juil. 1952), vol. 149, n° 2, p. 42, 2 fig. — Sur une piste d'essais de

vitesse pour automobiles, on a employé une machine à cylindrer les revêtements bitumineux qui opère en position inclinée en la retenant au moyen de cordes fixées à un tracteur qui circule sur la crête du virage. E. 21399. CDU 625.85 : 691.161.

283-59. Construction des routes bitumineuses par temps humide et par temps froid. I (Bitumenöser Strassenbau bei Nässe und Kälte). KRENKLER (K.); *Strassen-Tiefbau*, All. (juin 1952), n° 6, p. 169-172, 9 fig. — E. 21144. CDU 625.85 : 691.161 : 699.8.

284-59. Mélanges de bitume et de goudron pour routes et leur analyse (Über Bitumen-Strassenteermischungen und ihre Analyse). FLISTER (E.); *Bitum. Teere-Asph. Peche-ver. Stoffe*, All. (juil. 1952), n° 7, p. 180-182, 2 fig. — E. 21537. CDU 625.85 : 691.161.

285-59. L'examen au laboratoire des agglomérés bitumineux (Sull'esame di laboratorio dei conglomerati bituminosi). ARIANO (R.); *Strade*, Ital. (juin 1952), n° 6, p. 183-187, 4 fig., 13 réf. bibl. — E. 21427. CDU 625.85 : 691.161 : 620.1

286-59. Surfacing des revêtements routiers bitumineux (Oppervlakte-behandeling van wegen met vloeibitumen). FRIJLING (J. J.); *Wegen*, Pays-Bas (avr. 1952), n° 437, p. 91-95, 4 fig. (résumé anglais). — Détermination des quantités appropriées de bitume et de gravillons. Relation entre la dimension des gravillons et la quantité nécessaire de bitume. Les chiffres et graphiques indiqués sont valables pour le climat de la Hollande et doivent être modifiés en conséquence pour les autres pays. E. 20139. CDU 625.85 : 691.161.

287-59. La séparation du trafic sur les routes nationales suisses (Die Verkehrstrennung auf den schweizerischen Hauptstrassen). HUNZIKER (E.); *Schweiz. Bauztg*, Suisse, I : (5 juil. 1952), n° 27, p. 383-386, 13 fig.; II (*fin*) : (12 juil. 1952), n° 28, p. 395-396, 2 fig., 4 fig. h. t. — Voies réservées respectivement aux autos, aux cyclistes et aux piétons. Routes à deux et à quatre voies. E. 21171, 21265. CDU 625.746.

288-59. Autoroutes en Angleterre (Automobilstrassen in England). *Bitum. Teere Asph. Peche-ver. Stoffe*, All. (juil. 1952), n° 7, p. 185-187, 5 fig. (Tiré de : « Ezzo-Oilways », 1950, vol. 3, n° 3). — E. 21537. CDU 625.731.

289-59. L'autoroute « Léonard de Vinci » (Bologna-Prato-Florence). [L'autostrada « Leonardo da Vinci » (Bologna-Prato-Firenze)]. *Corr. Costr.*, Ital. (26 juin 1952), n° 26, p. 6, 7 fig. — E. 21231. CDU 625.7/8.

290-59. Ouvrages d'art pour passages souterrains et passages supérieurs (autoroutes) (Le opere d'arte dei sottopassaggi e sovrappassaggi). *Corr. Costr.*, Ital. (24 juil. 1952), n° 30, p. 6, 1 fig. — E. 21474. CDU 625.7/8 : 690.354.

291-59. Le plus grand garage des États-Unis (à Arlington, Virginie) (Nation's largest parking building completed). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (10 juil. 1952), vol. 149, n° 2, p. 34-36, 39, 7 fig. — Le bâtiment peut recevoir mille six cents voitures sur ses cinq niveaux de parc. Construction en ciment armé comportant des dalles plates de 26 cm d'épaisseur avec des porte-à-faux de 4,6 m aux extrémités et 4,1 m sur les côtés. E. 21399. CDU 725.382.

292-59. Aération automatique d'un garage d'autobus (Automatische Lüftung einer Autobus-Garage). JOHANSSON (C. E.); *Installation*, Suisse (juin 1952), n° 3, p. 82-83, 6 fig., 1 réf. bibl. — E. 21210. CDU 725.382 : 697.9.

Fid ji Voies ferrées.

293-59. La station ferroviaire terminus de Rome (Roma termini). *Docum. Archit. Industr. ediliz.*, Ital. (avr.-juin 1952), n° 10, chap. IV, p. 28-40, 18 fig. (Tiré de « Ingegneria Ferroviaria », Ital., 1951, 2 vol., 184 p.). — E. 21596. CDU 725.31.

294-59. Le chemin de fer métropolitain de Rome. CARTY (C.); *Tech. Trav.* (juil.-août 1952), n° 7-8, p. 229-240, 29 fig. — Historique et dispositions générales. Description de la ligne. Stations. E. 21289. CDU 625.1.

Fid l Voies maritimes.

295-59. Le plus grand bassin aux pétroles d'Europe (à Manchester) (Largest oil dock in Europe). *Muck Shifter*, G.-B. (juil. 1952), vol. 10, n° 7, p. 299-307, 13 fig. — E. 21131. CDU 627.3 : 665.5.

296-59. Reconstruction du môle A de l'installation pour céréales du port de Brême (Wiederaufbau des Pier « A » der Getreideanlage Bremen). WIEGMANN; *Bautechnik*, All. (juil. 1952), n° 7, p. 192-202, 29 fig., 3 réf. bibl. — E. 21264. CDU 627.3.

297-59. Le canal d'Amsterdam au Rhin (The Amsterdam-Rhine canal). VAN AMERONGEN (C.); *Dock Harbour Author.*, G.-B. (juil. 1952), vol. 33, n° 381, p. 67-72, 8 fig. — Nouvelle communication entre Amsterdam et l'intérieur du Continent. E. 21204. CDU 626.1.

298-59. Procédé graphique rapide pour tracer la courbe caractéristique du mouvement permanent dans les canaux prismatiques (Procedimento grafico speditivo per il tracciamento del profilo di moto permanente nei canali prismatici). SCANO (F.); *Energ. elettr.*, Ital. (juil. 1952), n° 7, p. 416-417, 1 fig. — E. 21588. CDU 626.1 : 518.5.

299-59. Le nouveau canal Nimy-Blaton en Belgique (Het kanaal Nimy-Blaton in Henegouwen-België). BYLS (A.); *Ingenieur*, Pays-Bas (30 nov. 1951), n° 48, p. B.177-B.183, 18 fig. (résumé anglais). — Description du nouveau canal de navigation en cours de construction entre Mons et Blaton; il est prévu pour permettre le trajet simultané dans les deux sens de péniches de 600 t et peut également recevoir les grosses péniches de 1 350 t venant du Rhin. Étude de la protection des talus contre le tassement éventuel du sol du fait des exploitations minières. Description de vingt-six nouveaux ponts routiers et de chemins de fer qui doivent franchir le canal. Le béton précontraint a été utilisé pour ces ouvrages (systèmes FREYSSINET et MAGNEL). E. 18356. CDU 626.1 : 693 57.

300-59. Nouvelles portes pour l'écluse « King George V » à Londres (New dock gates for the P. L. A. Fitted to King George V entrance lock). *Dock Harbour Author.*, G.-B. (juil. 1952), vol. 33, n° 381, p. 83, 1 fig. — E. 21204. CDU 626.42.

301-59. Formule simple pour la détermination de l'écoulement de l'eau par les ouvertures pratiquées dans les portes d'écluses, par les écluses elles-mêmes et par déversoir (Enkele formules ter bepaling van de totale afvoer door openingen in sluisdeuren, door sluizen in via overlaten). VAN LUGT (der); *Publ. Werk.*, Pays-Bas (avr. 1952), n° 4, p. 47-51, 3 fig. — On a proposé un grand nombre de formules assez complexes. Exposé d'une formule extrêmement simple avec plusieurs exemples d'application. E. 20154. CDU 626.42 : 532 : 518.5.

302-59. Reconstruction du quai de France à Cherbourg. PAGES (A.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (juil.-août 1952), n° 55-56 (Trav. publ. XVI), p. 691-710, 39 fig. (résumé anglais). — Le quai de France à Cherbourg, construit en 1930 pour l'accostage des paquebots transatlantiques, était constitué par un mur de quai en caissons de béton armé relié par un platelage en béton armé aux terre-pleins du môle. Détruit en 1944 par des charges d'explosifs placées à la face interne des caissons et remis en état provisoire par l'armée américaine, il a été reconstruit par mise en place d'un rideau de

caissons de parement et remplissage de l'intervalle entre l'ancien quai et le rideau par du béton coulé sous l'eau. Des caissons piles foncés sur les anciens caissons sont reliés aux caissons de parement par une dalle nervurée qui coiffe l'ensemble de l'ouvrage et se prolonge en console vers l'arrière. Discussion. E. 21724. CDU 627.3 : 690.593.

303-59. Murs de quais du port d'Amsterdam (Kademuren in de Amsterdamse haven). *Polytech T.*, Pays-Bas (15 avr. 1952), n° 15-16, p. 259b-267b, 23 fig. — Description des différents quais construits à Amsterdam au fur et à mesure de l'extension du port. Différents systèmes de pieux de fondation et de caissons. Pieux droits et obliques. Bajoyage. E. 20136. CDU 627.3 : 624.15.

304-59. L'équipement du môle d'escale de La Pallice. *Génie civ.*, Fr. (15 juil. 1952), t. 129, n° 14, p. 261-263, 4 fig. — Énumération et description des ouvrages et engins d'équipement du môle de La Pallice relié au port par un viaduc d'accès. E. 21286. CDU 627.3.

Fid p Voies aériennes.

305-59. Construction de bases aériennes au Maroc. *Tech. mod. Constr.*, Fr. (juil. 1952), t. 7, n° 7, p. 215-218, 14 fig. — Étude du matériel américain utilisé au Maroc pour la construction de bases aériennes. E. 21451. CDU 629.

306-59. Effets des avions à réaction sur les revêtements des pistes, voies de circulation et aires de stationnement des aérodromes. CHASTE (M.); *Ann. Ponts Chauss.*, Fr. (juil.-août 1952), n° 4, p. 463-494, 48 fig. (résumé anglais). — Exposé des observations faites au cours de deux années d'utilisation d'un aérodrome par des avions à réaction. Caractéristiques des avions fréquentant l'aérodrome; caractéristiques des pistes. Dégradations observées sur les pistes et l'action sur les avions des défauts de revêtements. Qualité comparée des divers revêtements vis-à-vis de l'action des avions à réaction. E. 21571. CDU 629.139.1 : 693.54.

307-59. Discussion sur le drainage des revêtements d'aéroports (Discussion of base course drainage for airport pavements). BARBER (E. S.); KRYNINE (D. P.); CASAGRANDE (A.); SHANNON (W. L.); *Proc. A. S. C. E.*, (Soil Mecan. Foundat. Div.), U. S. A. (juin 1952), vol. 78, Separ. n° D-75, 6 p., 3 fig. — E. 21310. CDU 629.139.1 : 631.6.

308-59. Nouveau port aérien « O'Hare » à Chicago, étudié pour le chargement rapide des avions (Chicago's O'Hare field terminal designed for faster aircraft loading). *Amer. City*, U. S. A. (juil. 1952), vol. 67, n° 7, p. 21, 1 fig. — E. 21512. CDU 629.139.1.

309-59. Bâtiments de service de l'aérodrome de Schiphol (De utiliteitswerken op de Luchthaven Schiphol). TIRION (P. C.); *Ingenieur*, Pays-Bas (14 mars 1952), n° 11, p. B-13-B-18, 6 fig., 1 réf. bibl. — Description des travaux exécutés depuis la guerre. Hangars à charpente métallique. Hangars à ossature en béton précontraint (système FREYSSINET). Ateliers de montage et de réparations. E. 19626. CDU 629.139.2 : 725.39.

Fif OUVRAGES D'ART

Fif j Souterrains.

310-59. Le tunnel de « Ljeskove Vode ». I. II. (*fin*) (Tunel « Ljeskove Vode »). HUBNER (A.); *Tehnika*, Yougosl. (1952) : n° 1, p. 20-23; 8 fig.; n° 2, p. 152-157, 17 fig., 1 réf. bibl. (résumés anglais). — E. 21212, 21213. CDU 624.19.

Fif 1 Soutènements.

311-59. La stabilité contre le glissement des murs de soutènement (Sliding stability of retaining walls). FISHER (G. P.), MAINS (R. M.); *Civ. Engng.*, U. S. A. (juil. 1952), vol. 22, n° 7, p. 54-55, 2 fig. — E. 21509.

CDU 624.152 : 624.131.4.

Fif m Ponts.

312-59. La beauté des ponts (Schönheit von Brücken). STEINMAN (D. B.); *Bautechnik*, All. (juin 1952), n° 6, p. 145-152, 12 fig. Revue de grands ponts de tous genres de construction. — E. 21207.

CDU 624.2/8 : 720.1.

313-59. Le pont Corneille à Rouen. Pont métallique entièrement soudé. *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (juil.-août 1952), n° 55-56 (Constr. métall. X), p. 727-746, 31 fig. (résumé anglais). — J. VELITCHKOVITCH : Description sommaire du nouveau pont Corneille comportant deux poutres cantilever en acier de 142,5 m de portée franchissant chacune un bras du fleuve. Les travées centrales ont une portée de 99,4 m. Fondations sur pieux, culées en béton coulé dans des éléments préfabriqués. Conception des soudures. A. SCHMID : Détails du projet. Exécution des poutres en atelier, leur transport, les essais en charge, le montage. E. 21724.

CDU 624.27 : 693.97.

314-59. Reconstruction du pont d'Anvers à Strasbourg. GRAFF (R.), RUSSIAS (F.); *Tech. mod. Constr.*, Fr. (juil. 1952), t. 7, n° 7, p. 197-

202, 15 fig. — Le pont d'Anvers est un cantilever métallique biais à poutres inférieures et tablier en béton, de 135,8 m de longueur totale avec travée centrale de 60 m. Caractéristiques particulières des entretoises et du tablier. Montage et lancement du pont. Construction des piles et culées. E. 21451. CDU 624.27 : 693.97.

315-59. Construction de ponts à poutre médiane en béton armé et en béton précontraint (Mittelträger-Konstruktionen in Stahlbeton und Spannbeton). SEYDEL (K. H.); *Bauplan. Bautech.*, All. (juin 1952), n° 9, p. 241-246, 20 fig., 12 réf. bibl. — Ce type de construction comporte une poutre médiane longitudinale constituée par un caisson de grande dimension, l'excédent de largeur du pont étant formé par deux porte-à-faux latéraux. E. 21554.

CDU 624.27 : 693.55 : 693.57.

316-59. Pont du Palatinat sur le Neckar à Mannheim. I. II. (Die Kurpfalzbrücke über den Neckar in Mannheim). MAYER (R.); *Stahlbau*, All. : (juin 1952), n° 6, p. 85-88, 6 fig., 4 réf. bibl.; (juil. 1952), n° 7, p. 117-124, 24 fig., 8 réf. bibl. — Pont en acier à trois travées de 56,75 et 56 m de portée. E. 21208, 21258.

CDU 624.27.

317-59. Reconstruction du pont sur l'Elbe à Lauenburg (Wiederaufbau der Elbebrücke bei Lauenburg). JESSBERGER (L.); *Stahlbau*, All. (juin 1952), n° 6, p. 91-95, 9 fig. Détail des constructions. Rapidité des travaux. E. 21208.

CDU 624.27.

318-59. Le nouveau pont sur l'Ache de Bregenz (Autriche) (Neubau der Bregenzer Achebrücke). GRASS (A.); *Österr. Bauztg.*

Autr. (16 août 1952), n° 33, p. 6-7, 5 fig. — Pont en béton précontraint constitué par deux poutres continues de 1,3 m de largeur. Il comportera trois ouvertures de 34,4 et 34 m. Son aspect est particulièrement élancé. E. 21719.

CDU 624.27 : 693.55.

319-59. Pont avec tablier en béton et bois (Punte con tablero de hormigon y madera laminada). *Inform. Constr.* (Inst. tec. Constr. Cemento), Esp. (juin-juil. 1952), n° 42, p. 562.9/1, 2 fig. (Tiré de : « West. Constr. »). — Normalisation canadienne pour des ponts jusqu'à 15 m d'ouverture. Le béton absorbe les compressions et le bois lamellé résiste aux tractions. E. 21293.

CDU 624.27 : 624.21 : 691.116.

320-59. Calcul de la flexion des poutres principales en forme d'arc dans les ponts en acier (Zur Berechnung der Durchbiegung der bogenförmigen Hauptträger stählerner Brücken). HAILER (J.); *Bauplan. Bautech.*, All. (juin 1952), n° 9, p. 260-263, 7 fig. — E. 21554.

CDU 624.6 : 693.97 : 518.5.

321-59. Construction du pont du « Memorial » sur la Delaware (Construction of the Delaware Memorial bridge). SEELY (H. R.); *Proc. A. S. C. E.* (Constr. Struct. Div.), U. S. A. (juil. 1952), vol. 78, separ. n° 137, 13 p., 1 fig. — E. 21670.

CDU 624.5.

322-59. Le nouveau pont suspendu de Tacoma. I-II. (fin) (Tacoma Narrows bridge). *Engineer*, C.-B. (11 juil. 1952), vol. 194, n° 5033, p. 38-42, 12 fig.; (18 juil. 1952), vol. 194, n° 5034, p. 74-77, 7 fig. — E. 21259. E. 21316.

CDU 624.5.

II. — TRADUCTIONS

D'ARTICLES TECHNIQUES EFFECTUÉES PAR L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

Des reproductions de ces traductions peuvent être fournies aux adhérents de l'Institut Technique, moyennant une participation aux frais de traduction fixée forfaitairement à 300 F la page dactylographiée du format normal.

328. Les profilés façonnés à froid dans la pratique de la construction. Normalisation proposée (Cold formed sections in structural practice with a proposed design specification). SHEARER SMITH (W.); *Struct. Engr.*, G.-B. (juin 1951), n° 6, p. 165-178, 33 fig., 34 réf. bibl. — Introduction relative au procédé de laminage à froid, au domaine d'application des laminés façonnés à froid, aux méthodes d'assemblage et aux opérations annexes. Indication des contraintes admissibles pour les éléments de faible épaisseur en tenant compte des conditions d'instabilité. Les spécifications de calcul indiquées sont appliquées à des exemples et on fait ressortir l'économie réalisée par rapport à l'emploi d'autres profilés. E. 21401, 39 p.

330. Teneur en acide carbonique de l'eau, nécessaire pour l'attaque du béton et méthode pour la déterminer (A viz Betonra Aggressziv Szénsav Tartalma es Annak Kiszamitasa). PAPP (S.); *Magyar Mernok Epiteszegylet Kozlonye* (1944), Edit. spéc. n° 10, 29 p. dactylogr., 7 fig., 6 réf. bibl. — Détermination de l'acide

carbonique agressif pour le béton dans les eaux contenant du magnésium et des hydrocarbonates d'alcalis (A Betonra Aggressziv Szénsav Kiszamitasa Magnézium es Alkalihidrokarbonat Tartalmu Vizekben). PAPP (S.); *Magyar Mernok Epiteszegylet Kozlonye* (1944), Edit. spéc. n° 13, 9 p. dactylogr., 2 fig., 5 réf. bibl. — Dans la première partie : expériences sur l'influence des composés du calcium de solutions d'hydrocarbonate de calcium de valeur pH et de teneur en acide carbonique libre différente. Teneur en acide carbonique combiné et en acide carbonique libre correspondant à leur valeur de pH, de différentes eaux à dureté variable, ainsi que leur valeur pH d'équilibre à 15° C. Exposé de la méthode employée pour le calcul de l'acide carbonique libre agressif pour le béton. Valeurs de pH des eaux de diverses duretés qui rendent ces eaux agressives pour le béton. Dans la deuxième partie : méthode de calcul de l'acide carbonique agressif au cas des eaux qui contiennent à côté de l'hydrocarbonate de calcium, du magnésium et de l'hydrocarbonate d'un alcali. E. 21304.

334. Calcul et construction d'une toiture en voile mince de grande portée en béton précontraint (The design and construction of a large span prestressed concrete shell roof). KIRKLAND, GOLDSTEIN; *Struct. Engr.*, G.-B. (avr. 1951), p. 107-127, 20 fig., 8 réf. bibl. — Couverture d'un garage par neuf voûtes cylindriques de 10 m de largeur et de 44,5 m de portée dont les poutres de rives sont précontraintes. Mode de construction. En annexe : formules commentées de la méthode de calcul de Finsterwalder. Dans seize tableaux h. t. : valeurs calculées pour le cas étudié. E. 21449, 37 p.

335. Fondation pour un grand turbo-générateur (Foundation for a large turbogenerator). ROGERS (P.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (nov. 1951), p. 213-222, 6 fig., 5 réf. bibl. — Exposé d'une méthode pratique pour l'étude de la construction des fondations en béton armé d'un grand turbo-générateur. Moyen d'évaluer les charges et forces agissant sur la fondation. Calcul d'un cadre transversal et avantage des poutres en acier enrobées pour résister aux forces horizontales. E. 21305, 12 p.

III. — BIBLIOGRAPHIE

Chaque analyse bibliographique donnant le nom et l'adresse de l'éditeur et le prix de vente, les adhérents de l'Institut Technique sont priés de s'adresser directement aux éditeurs ou aux librairies pour se procurer les ouvrages qu'ils désirent acquérir ; toutefois pour les ouvrages édités à l'étranger, il est préférable de les commander par l'intermédiaire de librairies spécialisées dans l'importation. Tous renseignements complémentaires seront fournis sur demande par l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics. 82, boulevard Raspail, Paris-VII^e.

B-720. **Chimie-physique et résistance des ciments.** Roos (A.) ; Éd. : Librairie technique et Documentation, 11, rue Lavoisier, Paris (1952), 1 vol. (16 × 24 cm), 57 p., 45 fig., 25 réf. bibl., F : 780. — Rassemblant les faits épars, l'auteur fait le point des connaissances acquises et présente la « Chimie-physique des liants hydrauliques » sous l'aspect de ses rapports avec les propriétés mécaniques. Ce volume condensé expose les causes profondes de la résistance des ciments et dégage certaines lois entre les caractéristiques mécaniques et chimico-physiques des ciments Portland, laitiers et fondus. Cette étude constitue une documentation de base pour les ingénieurs architectes, entrepreneurs et experts spécialistes du béton. E. 21251.

B-721. **La construction en béton de terre.** Éd. : Bureau central d'Études pour les Équipements d'Outre-Mer. Service de l'Habitat, 90, boulevard Latour-Maubourg, Paris (1952), 1 vol. (14 × 22 cm), 66 p., 24 fig. — Définition du béton de terre et recherche de gisements. Contrôles et essais : contrôle de la composition du matériau, essais de compactage et teneur en eau, essais en cours de fabrication, contrôle du retrait, essai de résistance, essais de laboratoire, essai Proctor. Fabrication : parpaings et béton banché. Stabilisation et insensibilisation à l'eau : stabilisation aux liants hydrauliques et à la chaux, insensibilisation à l'eau au moyen du bitume. Règles particulières de construction. Protection contre les termites. Documentation à quelques matériels existants

pour le traitement du béton de terre : malaxeurs, presses. E. 21641.

B-722. **Essai sur l'habitation tropicale.** Éd. : Bureau central d'Études pour les Équipements d'Outre-Mer. Service de l'Habitat, 90, boulevard Latour-Maubourg, Paris (1952), 1 vol. (22 × 27,5 cm), 70 p., nombr. fig., 10 pl. h. t. — Ouvrage publié sous la direction de Maurice BLANC. Chapitre I : Cartes climatologiques de l'Afrique tropicale française et de Madagascar, donnant les valeurs des températures, de l'humidité, de l'inconfort et des cartes de vents. Chapitre II : Orientation des habitations en fonction de l'insolation et des vents. Chapitre III : Dispositifs généraux à adopter contre la chaleur et l'humidité, systèmes de ventilation, de protection contre les insectes, rongeurs et volatiles. Chapitre IV : Implantation, plan-masse, groupement des habitations avec exemples. En annexe : représentation schématique de l'inconfort dans diverses localités, tables de correction des températures effectives en fonction de la vitesse de l'air, l'incidence et la direction des rayons solaires pour diverses latitudes ; plan d'enquête préalable à la recherche de l'implantation d'un groupement et à l'étude de son plan-masse ; liste de végétaux convenables pour les plantations. E. 21642.

B-723. **Les techniques de documentation aux États-Unis.** Éd. : Organisation européenne de Coopération économique, Château de la Muette, Paris (1951), 1 vol. (16 × 24 cm), 59 p., réf. bibl. — Rapport relatif à une visite professionnelle effectuée aux États-Unis en 1951 par un groupe d'experts européens, appartenant à

divers états de l'Europe : Angleterre, Norvège, Suède, France, Danemark, Grèce, Autriche, Pays-Bas, Portugal, Italie, Allemagne Occidentale. Objets de la Mission : méthodes et organisation des bibliothèques et services de documentation ; solution, reproduction, diffusion des informations ; possibilités d'application de ces méthodes par divers organismes européens. E. 21573.

B-724. **Guide 1952 du chauffage, de la ventilation et du conditionnement d'air** (Heating, ventilating, air conditioning guide 1952). Éd. : American Society of Heating and Ventilating Engineers, 62 Worth Street, New-York 13, U. S. A., vol. 30 (16 × 24 cm), xxiv + 1496 p., nombr. fig., 2 pl. h. t., nombr. réf. bibl. \$: 7.50. — Première partie technique : étude et spécifications du matériel et des installations de chauffage, de ventilation et de conditionnement d'air. Deuxième partie : répertoire des fabricants et installateurs d'appareils ; principes fondamentaux qui concernent les questions de chauffage et de circulation des fluides, réactions du corps humain aux conditions de température et d'atmosphère. Charges imposées au chauffage et à la réfrigération, températures à réaliser compte tenu des conditions climatiques et atmosphériques, combustion et consommation de combustibles. Différents systèmes de matériel et leurs dispositifs de contrôle et de réglage automatique. Une section spéciale est consacrée aux installations industrielles. Les deux derniers chapitres sont relatifs aux instruments de mesures et à leur emploi et aux codes et normes. E. 21125.

IV. — NORMALISATION

NORMES HOMOLOGUÉES

Homologations au 31 mars 1952.
Arrêté en date du 12 avril 1952.
J. O. du 17 avril 1952.

Bâtiment et Génie civil.

Terrasse, maçonnerie, béton armé.
Canalisations, égouts.

NF P 16-301. Canalisations sans pression en amiante-ciment. Tuyaux et raccords. Qualité 125 F

DOCUMENTS NON SOUMIS
A HOMOLOGATION

Normes fondamentales.
Unités et symboles.

FD X n° 02-002 Unités de mesure. Définitions. Remplace FD X n° 02-002 juillet 1950 460 F
FD X n° 02-004 Noms et symboles des unités de mesure. Remplace FD X n° 02-004 mars 1950 210 F

TRAVAUX EN COURS

Bâtiment.

18 mars : AFNOR. Commission de couverture. Mise au point avant l'enquête publique, des projets de normes suivants :

Pr. P 32-201 « Code des conditions minima d'exécution des travaux de couverture. Aluminium ».

Pr. P 32-401 « Couverture. Dimensions des ardoises ».

7 avril : Bureau de Normalisation de l'Ordre des Architectes (BNOA). Commission consultative :

Examen des études actuelles de normalisation du bâtiment particulièrement d'une nouvelle édition du cahier des charges générales et des projets de marque de qualité de la serrurerie et de la robinetterie.

BÉTON. BÉTON ARMÉ

(III)

Déjà paru dans la même série au 31 octobre 1952 :

- | | |
|---|---|
| N° 1. — R. L'HERMITE et G. TOURNON, La vibration du béton frais. | N° 11. — Commémoration du Centenaire de l'invention du ciment armé par la Chambre Syndicale des Constructeurs en ciment armé de France. |
| N° 2. — M. BUISSON, Détermination expérimentale de la composition des bétons. | N° 12. — R. L'HERMITE, La résistance du béton et sa mesure. Compléments. |
| N° 3. — M. VALENTA, Nouvelle recherche sur la gélivité des bétons. Les bétons aérés. | N° 13. — R. DUTRON, Les bétons légers. |
| N° 4. — R. CHAMBAUD, Étude expérimentale de la flexion dans les pièces en béton armé. Théorie élasto-plastique et méthode de calcul à coefficient de sécurité constant. | N° 14. — E. TORROJA, Réalisations de voûtes minces en Espagne. |
| N° 5. — R. L'HERMITE, La résistance du béton et sa mesure. | N° 15. — A. BIREBENT, Étude sur la composition et les propriétés des bétons caverneux. |
| N° 6. — R. VALLETTE, Composition des bétons. Mise au point de la question. | N° 16. — A. BALENCY-BEARN, R. DEVARS du MAYNE, M. TURIN, M. HAHN et J. CHEFDEVILLE, Les planchers-dalles sans champignons. |
| N° 7. — P. BRICE, Liaison du béton et du métal. | N° 17. — R. L'HERMITE, Nouveaux procédés de traitement des bétons. |
| N° 8. — M. PROT, Essais statistiques sur mortiers et bétons. | N° 18. — J.-B. BAROIN, Conditions techniques et économiques d'utilisation des bétons à air occlus. |
| N° 9. — A. KOBYLINSKI, Recherches sur l'utilisation rationnelle des débris de démolition dans les bétons et les mortiers destinés à la construction d'habitations. | N° 19. — P. BRICE, Théorie de la fissuration des pièces en béton armé. Conséquences pratiques. |
| N° 10. — R. CHAMBAUD, Théorie élasto-plastique de la flexion dans les poutres en béton armé. Mémoire complémentaire. | N° 20. — N. ESQUILLAN, Le hangar en béton armé à deux nefs de 101,5 m de portée de l'aéroport de Marignane. |
| | N° 21. — A. JOISEL, Composition des bétons hydrauliques. |

BATIR

REVUE TECHNIQUE DE LA FÉDÉRATION NATIONALE DU BATIMENT ET DES ACTIVITÉS ANNEXES

PUBLIÉE AVEC LE CONCOURS DE L'INSTITUT TECHNIQUE
ET DES LABORATOIRES DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

SOMMAIRE DU NUMÉRO 25

Inauguration de l'École de métiers de Felletin.

Donzère-Mondragon.

Comparaison entre le prix des charpentes et celui d'un mur de refend prolongé.

GROS ŒUVRE : Maisons à roulettes. Les parapluies de chantier.

BOIS : Le bois au service des grands travaux : la triangulation italienne.

NOUVEAUTÉS BREVETÉES : Per-siennes.

PEINTURE ET DÉCORATION : La peinture à la cire.

Décollement total de peintures à l'huile.

Une réputation surfaite : la térébenthine.

ÉQUIPEMENT TECHNIQUE : Après le Congrès et l'Exposition de chauffage industriel.

Les films du Bâtiment.

Domages de guerre et reconstruction au temps jadis.

Au salon de l'auto.

Échos et informations.

Fiches bibliographiques.

Ces textes s'attachent à présenter, d'une façon à la fois simple et complète, des renseignements utiles.

Prix du numéro : 300 F

SPÉCIMEN GRATUIT SUR DEMANDE

BATIR — 33, avenue Kléber, Paris-XVI^e

Abonnement d'un an : 2 500 F

(Neuf numéros)

INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SESSION 1952-1953 : Première série.

Salle de la Fédération Nationale du Bâtiment, 7, rue La Pérouse, Paris-XVI^e.

MARDI 25 NOVEMBRE 1952, à 17 h. 30

Sous la Présidence de M. VARLAN,
Maître de Conférences à l'École Nationale du Génie Rural
et à l'École Nationale Supérieure des Beaux-Arts.

**LA PRÉVENTION DES INCENDIES PAR L'IGNIFUGATION
DANS LE BATIMENT ET LA DÉCORATION**

par M. l'Ingénieur-Docteur André SAMUEL, Ingénieur E. P. C. I.

MARDI 2 DÉCEMBRE 1952, à 17 h. 30

Séance organisée en commun
avec l'Association Française des Ponts et Chaussées.

Sous la Présidence de M. de BUFFEVENT,
Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées du département de Seine-et-Oise.

LE PONT DE VILLENEUVE-SAINT-GEORGES

Conception de l'ouvrage et problèmes posés par sa réalisation, par
M. Henry LOSSIER, Ingénieur-Conseil.

Les enseignements tirés du chantier, en matière de contrôle de la qualité des
matériaux, par M. Michel BONNET, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Présentation du film pris au cours des travaux, par M. THOMAS, Sous-Directeur
des Établissements Fourré et Rhodes.

LA SÉANCE DU MARDI 9 DÉCEMBRE 1952 EST ANNULÉE

La conférence sur "Le Tunnel de la Croix-Rousse" par M. REROLL,
Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, prévue à cette séance,
reportée à une date ultérieure qui sera précisée.

L'INFORMATION TECHNIQUE CINÉMATOGRAPHIQUE

MERCREDI 10 DÉCEMBRE 1952, à 18 h. précises.

Programme :

BUILDING FOR THE NATIONS (Bâtiment de l'O. N. U. à New-York).

CENTRALE THERMIQUE DE BONE (Exécution de pieux forés de 1 m de
diamètre).

PIERRES QUI ROULENT (Déplacement de maisons à Châtillon-sous-Bagneux).

La carte spéciale d'inscription sera demandée à l'entrée.

MARDI 16 DÉCEMBRE 1952, à 17 h. 30

Sous la Présidence de M. MEUNIER,
Président des Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics.

LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE EN AMÉRIQUE ET DANS LE MONDE

par M. L'HERMITE, Directeur des Laboratoires du Bâtiment et des Travaux
Publics, Secrétaire Général de la Réunion Internationale des Laboratoires
d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions.